



## **TEKNIikka JA LIIKENNE**

**Sähkötekniikka**

**Sähkövoimatekniikka**

## **INSINÖÖRITYÖ**

### **MAASULKUVIAN PAIKANNUS KOMPENSOIDUSSA KESKIJÄNNITEVERKOSSA**

**Työn tekijä: Nikolas Areva  
Työn ohjaajat:  
DI Mika Loukkalahti  
DI Sampsa Kupari**

**Työ hyväksytty: \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . 2010**

**Sampsa Kupari  
lehtori**



## **ALKULAUSE**

Tämä insinöörityö on tehty Helen Sähköverkko Oy:n esittämästä aiheesta. Haluan kiittää erittäin mielenkiintoisesta aiheesta ja hyvästä opastuksesta työni ohjaajana toiminutta sähkövoimajärjestelmäryhmän päällikköä dipl.ins. Mika Loukkalahtea Helen Sähköverkko Oy:stä. Kiitän erityisesti myös sähkövoimajärjestelmäryhmän tekn. Juha Mikkolaa ja tekn. Jorma Seitsosta suuresta avusta työn eri vaiheissa. Kiitän myös työni tarkastajaa lehtori dipl.ins. Sampsa Kuparia Metropolia ammattikorkeakoulusta ja kaikkia niitä, jotka auttoivat ja tukivat minua työn tekemisessä.

Työn ohella sain ainutlaatuisen tilaisuuden perehtyä mielenkiintoiseen ja haastavaan teoriaan sekä nykyaikaiseen tekniikkaan.

Helsingissä 21.4.2010

Nikolas Areva

## TIIVISTELMÄ

<b>Työn tekijä:</b> Nikolas Areva	
<b>Työn nimi:</b> Maasulkuvian paikannus kompensoidussa keskijänniteverkossa	
<b>Päivämäärä:</b> 21.4.2010	<b>Sivumäärä:</b> 57 s. + 8 liitettä
<b>Koulutusohjelma:</b> Sähkötekniikka	<b>Suuntautumisvaihtoehto:</b> Sähkövoimatekniikka
<b>Työn ohjaaja:</b> lehtori, dipl.ins. Sampsa Kupari	
<b>Työn ohjaaja:</b> dipl.ins. Mika Loukkalahti	
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Helen Sähköverkko Oy:n Verkon käyttö -yksikölle, joka vastaa Helsingin alue- ja jakeluverkon käytöstä. Tässä työssä on tarkasteltu maasulkuvian paikannusta kompensoidussa keskijänniteverkossa erityisesti Helen Sähköverkko Oy:n keskijänniteverkkojen kannalta.</p> <p>Maasulkuvian tarkan vikapaikan paikannus on maailmanlaajuinen ongelma. Paikannus on ongelmallinen paikannusmenetelmien epätarkkuuden vuoksi. Epätarkkuutta aiheuttavat pienten vikavirtojen lisäksi nollaimpedanssi, vikaresistanssi ja kuormitusvirrat. Helen Sähköverkko Oy on ensimmäisiä jakeluverkkoyhtiöitä Suomessa, joka on ottanut käyttöön hälyttävän maasulkusuojauksen kompensoidussa keskijännitekaapeliverkossa.</p> <p>Työn ensimmäisissä vaiheissa on kuvattu Helen Sähköverkko Oy:n organisaatiota ja sähköverkon rakennetta. Näiden jälkeen on kuvattu yleistä teoriaa maasulkuvioista, maasulkuvirran kompensoinnista ja kompensointitavoista sekä kompensoinnin tuomia hyötyjä ja haittoja. Tämän jälkeen työssä on käsitelty yleistä keskijänniteverkon suojausta, josta erityisesti kompensoidun verkon suojausta. Suojausosiossa on esitelty tarkemmin HSV:n keskijänniteverkon suojaus- ja toteutusperiaatteet. Edelleen työssä käytiin läpi Pukinmäen sähköaseman kompensoinnin toteutustapa ja kompensointilaitteisto.</p> <p>Työn lopussa on kuvattu maasulkuvian paikannukseen liittyvä prosessi, jossa on eroteltu na sähköasematason paikannus, muuntamotason paikannus ja tarkka vianpaikannus. Osiossa on verrattu kompensoidun ja maasta erotetun verkon vianhakuprosessia havainnollistavien kuvien avulla. Paikannusosiossa on käsitelty myös verkostoautomaatiota ja sen tuomia lisäetuja maasulun paikannukseen.</p> <p>Työn tuloksena saatiin kokonaiskuva keskijänniteverkon kompensoinnista ja sen toteutuksesta kaapeliverkostossa sekä käytettävästä maasulkuvian aikana.</p>	
<b>Avainsanat:</b> keskijänniteverkko, Helen Sähköverkko Oy, maasulku, kompensointi, paikannus	

**ABSTRACT**

<b>Name:</b> Nikolas Areva	
<b>Title:</b> Earth fault location in medium voltage distribution network	
<b>Date:</b> 21.4.2010	<b>Number of pages:</b> 57 + 8 suppl.
<b>Department:</b> Electrical Engineering	<b>Study Programme:</b> Electrical Power Engineering
<b>Instructor:</b> Sampsa Kupari, M.Sc, Lecturer (of Electrical Power Engineering)	
<b>Supervisor:</b> Mika Loukkalahti, M.Sc, Helen Electrical Networks Ltd	
<p>This work was carried out for the network access unit of Helen Electrical Networks Ltd which is the administrator of the electricity distribution network in the Helsinki region and provides its customers with electricity transmission and distribution services.</p> <p>In this work, earth fault location in a compensated 20 kV medium voltage distribution network was studied, particularly from the point of view of Helen Electrical Networks Ltd.</p> <p>Earth fault's distance location is a global problem. The location is problematic due to inaccuracies in the positioning methods. Besides small earth fault currents, imprecision is caused by zero sequence impedance, fault resistance and load currents. Helen Electrical Networks Ltd is one of the first electricity distribution network companies in Finland, which has taken an earth fault alarm indication system in use in a compensated medium voltage network.</p> <p>The first part of this work describes Helen Electrical Networks Ltd's electricity system and the structure of the organization. Thereafter the general theory of earth fault currents, compensating earth fault currents and compensating methods are described, as well as the benefits and disadvantages of the compensation. After this, the work focuses on the general protection of the medium voltage network, and in particular, the compensated network. The same protection section presents more precisely Helen Electrical Networks Ltd's medium voltage network's protection and method of implementation. The work continues by describing the Pukinmäki electrical substation's compensation project and compensation devices.</p> <p>Finally, this study explains the process related to the earth fault location including electrical substation level fault location, distribution substation level fault location and the exact fault location. This section provides a comparison of the compensated and isolated (unearthed) network earth fault location procedures with illustrative graphics. The fault location section also discusses distribution automation and its benefits in the location of earth faults.</p> <p>This study was successful in creating an overall view of the earth fault current compensation of the medium voltage distribution network and its implementation in a cable network, as well as how it is used.</p>	
<b>Keywords:</b> earth fault, earth fault location, methods for earth fault location	

## ALKULAUSE

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

## SISÄLLYS

## LYHENTEET JA SYMBOLIT

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>HELEN SÄHKÖVERKKO OY</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>HSV:N KESKIJÄNNITEVERKOT</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>KJ-VERKON MAASULKU JA MAASULKUVIRRAN KOMPENSOINTI</b>	<b>6</b>
4.1	Maasulun määritelmä	6
4.2	Maasta erotetun verkon maasulku	7
4.3	Kompensoidun verkon maasulku	9
<b>5</b>	<b>KJ-VERKON SUOJAUSPERIAATTEET</b>	<b>14</b>
5.1	Oikosulkusuojaus	14
5.2	Maasulkusuojaus	17
5.3	Kiskosuojaus	20
<b>6</b>	<b>HSV:N KOMPENSOINTIPROJEKTI</b>	<b>21</b>
6.1	Pukinmäen kj-verkon kompensointiprojekti	21
6.2	Pukinmäen laitteisto	22
6.2.1	Päämuuntajat	22
6.2.2	20 kV:n kojeisto ja apusähköjärjestelmä	22
6.2.3	20 kV:n ohjausjärjestelmä ja suojaus	23
6.2.4	Kompensointilaitteisto	24
<b>7</b>	<b>KOMPENSOIDUN VERKON VIANHAKU HSV:N NÄKÖKULMASTA</b>	<b>30</b>
7.1	HSV:n käytönvalvonta	30
7.2	Viallisen lähdön paikannus HSV:llä	32
7.3	Viallisen erotinvälin paikannus HSV:llä	34
7.4	Verkostoautomaatio ja Wimo	40
7.4.1	Muuntamoautomaatio ja Wimo maasulkupaikannuksen apuna	43
7.4.2	Erotoinvälin haarukointi Wimon avulla kompensoidussa verkossa	45

7.4.3	<i>Eroinvälin haarukointi Wimon avulla maasta erotetussa verkossa</i>	46
7.4.4	<i>Kaksoismaasulkutilanne</i>	48
7.5	<b>Tarkan vikapaikan haku erotetulla johto-osuudella</b>	<b>50</b>
8	<b>YHTEENVETO</b>	<b>53</b>
	<b>LÄHTEET</b>	<b>55</b>
	<b>LIITTEET</b>	
	<b>LIITE 1 MAADOITUSRATKAISUJEN TUNNUSLUKUJA</b>	
	<b>LIITE 2 SFS6001-9 STANDARDI</b>	
	<b>LIITE 3 RELEASETTELUJEN TAULUKOINTI</b>	
	<b>LIITE 4 RELEASETTELUN ESIMERKKI</b>	
	<b>LIITE 5 PUKINMÄEN SÄHKÖASEMAN YLEISKAAVIO</b>	
	<b>LIITE 6 REG-DP TEKNISET TIEDOT</b>	
	<b>LIITE 7 EOR-D TEKNISET TIEDOT</b>	
	<b>LIITE 8 MAASULKUVIAN HÄLYTYSLISTA</b>	

## LYHENTEET JA SYMBOLIT

### LYHENTEET

CIF	Control by Injecting Frequencies; virran injektointilaite
EOR-D	Maasulkuvian lisäpaikannuslaitteisto
Helen	Helsingin Energia
HSV	Helen Sähköverkko Oy
kj-asiakkaat	keskijänniteasiakkaat
kj-verkko	keskijänniteverkko
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition; käytönvalvontajärjestelmä
pj-verkko	pienjänniteverkko
PJK	pikajälleenkytkentä
T-CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index; keskeytyksen kesto aika
T-SAIDI	System Average Interruption Duration Index; keskimääräinen keskeytysaika
VKO	verkkokäskyohjaus

## SYMBOLIT

$C$	kapasitanssi
$C_e$	maakapasitanssi
$C_0$	nollakapasitanssi
$E$	lähdejännite
$f$	taajuus
$I$	virta
$I_0$	nollavirta
$I_e$	maasulkuvirta
$I_{ef}$	maasulkuvirta, kun vikaresistanssi on mukana
$I_L$	kompensointikelan virta
$I_{L1-3}$	vaiheen L1, L2 tai L3 virta
$I_m$	releeseen asetettava maasulkuvirta
$I_{RL}$	kompensointikelan lisävastuksen virta
$l$	pituus
$L$	induktanssi
$R_{m,max}$	suurin sallittu maadoitusresistanssi
$R_f$	vikaresistanssi
$R_0$	hajaresistanssi
$R_L$	kompensointikelan lisävastuksen resistanssi
$R_{fL2,3}$	vaiheen L2 tai L3 vikaresistanssi
$t_0$	katkaisijan ja releen laukaisuaika
$T_m$	releen laukaisuviive
$U$	jännite



$U_0$	nollajännite
$U_a$	askeljännite
$U_k$	kosketusjännite
$U_m$	maadoitusjännite
$U_{L1,L2,L3}$	vaiheen L1, L2 tai L3 jännite
$U_{TP}$	kosketusjännite
$U_V$	vaihejännite
$U_{21}$	vaiheiden 2 ja 1 välinen jännite
$X_0$	nollaverkon reaktanssi
$X_1$	myötäverkon reaktanssi
$X_2$	vastaverkon reaktanssi
$X_{eq}$	kompensointikelan impedanssi
$Z$	impedanssi
$z_k$	suhteellinen oikosulkuimpedanssi
$\omega$	kulmataajuus
$\varphi_0$	vaihekulma

## 1 JOHDANTO

Suurin osa Helen Sähköverkko Oy:n (HSV) keskijänniteverkon (kj-verkko) vioista johtuu maasuluista. Maasulkuvian paikantaminen kaapeliverkoissa on haasteellisempaa, kuin avojohtoverkoilla. Maasulut aiheuttavat kompensoimattomassa 20 kV:n kj-verkossa keskeytyksen kuluttajille, ja tämä kasvattaa asiakkaan keskimääräistä keskeytysaikaa.

Sähkönkäyttäjille aiheutuvista keskeytyksistä yli 90 % johtuu tavallisimmin keskijänniteverkon vioista. Sähkönkäyttäjät odottavat lähes keskeytymätöntä sähkön toimitusta ja tämän vuoksi jakeluverkkoyhtiöt pyrkivätkin vähentämään keskeytysaikoja. HSV:llä on tavoitteena puolittaa keskimääräinen keskeytysaika (T-SAIDI) vuoteen 2015 mennessä. Tavoite on haasteellinen toteuttaa nopealla aikataululla. Kompensointi on yksi tärkeimmistä keinoista tämän tavoitteen saavuttamiseksi.

Maasulkuvirran kompensointia tutkittiin laajemmin 1990-luvun lopulla, mutta silloin hanke ei ollut vielä teknistaloudellisesti kannattava laitteistojen korkeiden kustannusten vuoksi, pienten vikamäärien sekä keskeytysten alhaisemman arvostuksen vuoksi. Vuoden 2005 tienoilla arvostustaso oli noussut ja laitteiden kustannukset laskeneet, joten menetelmä alkoi olla teknistaloudellisesti kannattava.

Kompensointi tuo useita hyötyjä HSV:lle. Merkittävimmät hyödyt ovat 20 kV keskijänniteverkon maasulkuvikojen muuttuminen hälyttäviksi vioiksi, jolloin sähkönkäyttäjille ei koituisi välitöntä keskeytystä. Myös riski maasulkuvian laajenemiseen oikosuluiksi pienenisi ja kj-laitteille, erityisesti jännitemuuntajille, koituisi vähemmän raskaita.

Tässä insinööritöössä analysoidaan maasulkutilannetta kompensoidussa HSV:n keskijänniteverkossa ja pohditaan HSV:n ajatuksia, miten kompensoidussa verkossa viallinen johtolähtö ja erotinväli paikallistetaan. Työn alkuvaiheessa esitellään HSV:n keskijänniteverkkoja sekä yleistä teoriaa maasulkuvirran kompensoinnista ja maasulkumäärittämisestä. Työssä esitellään myös Pukinmäen sähköaseman kompensointiprojektia.

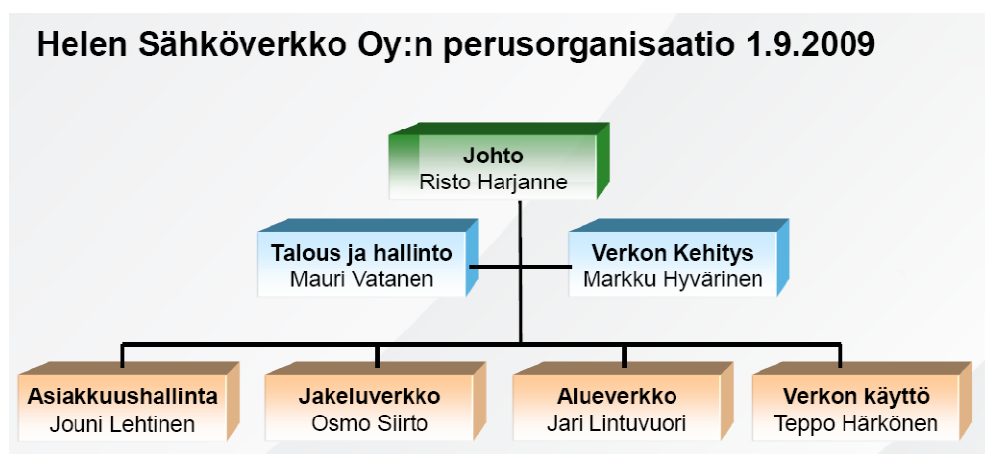
## 2 HELEN SÄHKÖVERKKO OY

Helen Sähköverkko Oy on Helen-konsernin tytäryhtiö ja yksi konsernin pääliiketoiminta-alueista. HSV vastaa sähkönsiirrosta ja sähköverkon hallinnasta Helsingin alueella. Sen tehtäviin kuuluu ylläpitää ja kehittää vastuualueensa sähköverkkoa ja tarjota asiakkaille sekä muille sähkömarkkinaosapuolille hyvälaatuinen verkkopalvelu ja edistysellinen markkinapaikka. Yhtiö ylläpitää ja kehittää verkkoaan kulutuksen ja tuotannon tarpeita vastaaviksi. HSV:n merkittävimmät yhteistyökumppanit ovat Helenin lisäksi Mitox Oy, verkostourakoitsijat ja kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj.[1.]

Helen Sähköverkko Oy (HSV) aloitti toimintansa 1.10.2006. Ennen tätä HSV tunnettiin Helsingin Energian HelenVerkko -yksikkönä. Yhtiön liikevaihto on noin 100 miljoonaa euroa ja henkilöstön määrä on noin 100 henkilöä. Päätoimipaikka sijaitsee Sörnäisissä Sörnäistenkatu 1:ssä.

HSV:n sähköverkko on liittyneenä Suomen kantaverkkoon usealla sähköasemalla ja muodostaa kantaverkon kanssa rinnankäyvän verkon. Lisäksi HSV:n 110 kV verkkoon on liittyneenä paikallista tuotantoa, joka yhdessä kantaverkkoliityntöjen ja rengasmaisesti silmukoidun 110 kV verkon kanssa luovat perustan sähkönjakelun käyttövarmuudelle Helsingissä.[2;3.]

HSV:ssä on kuusi yksikköä johtoportaan lisäksi. Nämä on jaettu kuvan 1 mukaan.



Kuva 1. Perusorganisaatio kaavio [2]

Kuvasta 1 tarkastellaan tarkemmin Verkon Käyttö -yksikköä sen hoitaessa vikaprosessit sekä paikalliskäytön sähköverkolla vikojen aikana.[2.]

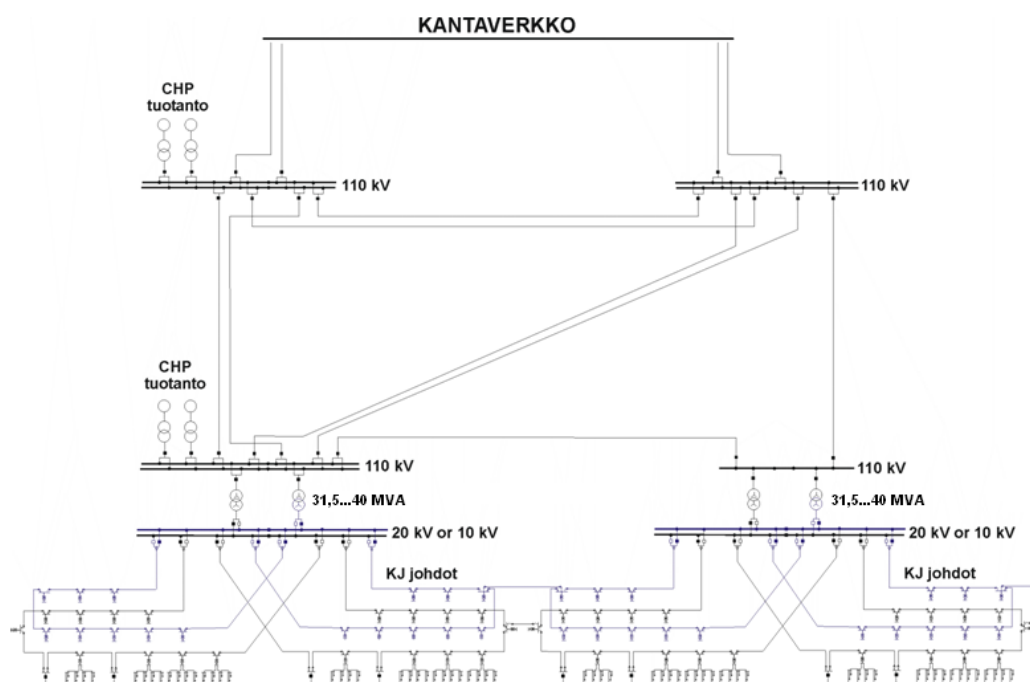
Verkon käyttö jakautuu edelleen viiteen osioon jotka on kuvattu kuvassa 2.



Kuva 2. Verkon käyttöyksikkö [2]

### 3 HSV:N KESKIJÄNNITEVERKOT

HSV siirtää sähköä kolmiportaisessa verkkojärjestelmässä. Sähkö siirretään voimalaitoksilta ja kantaverkosta 110 kV:n suurjänniteverkolla sähköasemille, josta sähkö jaetaan eteenpäin 10 ja 20 kV:n keskijänniteverkossa. Suuri jännitetaso mahdollistaa pienet siirtohäviöt jolloin kustannukset jäävät pienemmiksi. Sähköverkon silmukointi parantaa sähkönjakelun luotettavuutta. Järjestelmää on kuvattu kuvassa 3.[4.]



Kuva 3. Helsingin sähköverkon rakenne [5]

HSV:n verkolla on 21 sähköasemaa, joista uusin on Pukinmäen sähköasema (2009). Kyseisellä sähköasemalla on käytössä maasulun kompensointi. Sähköasemista yhdeksän on 10 kV:n ja kaksitoista 20 kV:n asemia. Keskijänniteverkolla on pituutta n. 1 500 km, ja sen kaapelointiaste on lähes 99 %.[6;7.]

Keskijänniteverkko on kokonaan maasta erotettu, lukuun ottamatta Pukinmäen sähköasemaa, joka on kompensoitu kuristimien avulla. KJ-verkko on rakennettu rengasverkoksi, joten vikatilanteen sattuessa renkaan osat ovat korvattavissa. Rengas muodostuu yhdestä tai useammasta johtolähdöstä ja sähköaseman kiskoston eri ryhmistä, joita syötetään eri päämuuntajilla. Sähköasemien ja keskijännitejohtojen normaali käyttötapa on ns. kiskokäyttö. Verkon rengasmainen rakenne parantaa verkon käyttövarmuutta.

Verkkoa käytetään säteittäisenä yksinkertaisemman suojauksen vuoksi. Rengasverkon rakentaminen on kannattavaa maakaapeliverkostoissa, sillä keskijännitekaapeleiden viankorjaus on hidasta.[7;8.]

Yli 90 % kj-johdoista on asennettu 1970-luvun jälkeen. Vanhimmat johdot ovat 1930-luvulta. Johtojen keski-ikä on noin 22 vuotta. 10 kV:n verkossa on noin 256 keskijännitelähtöä ja 20 kV:n verkossa noin 228. Taulukossa 1 on esitetty HSV:n johtopituuksien jakaantumista avojohtoihin ja maakaapeleihin[7.]:

*Taulukko 1. HSV:n johtopituudet lajeittain [9]*

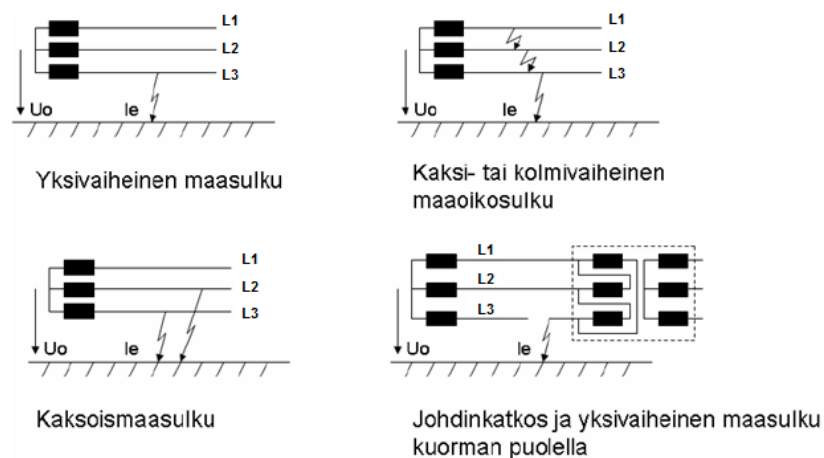
1-45 kV verkko	Maaseutu 0-30%	Taajama 30-75%	City 75-100%	Koko verkko
<b>Johtopituus yhteensä km*</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>1504</b>	<b>1513</b>
Avojohto	3	1	22	26
PAS	0	0	0	0
Ilmakaapelit	0	0	0	0
Kaapelit	1	4	1482	1487
)* josta PJK ja /tai AJK suojattua	4	5	177	186
Avojohtoista metsässä (%)	50	80	14	17

## 4 KJ-VERKON MAASULKU JA MAASULKUVIRRAN KOMPENSOINTI

### 4.1 Maasulun määritelmä

Maasulku on määritelty äärijohtimen ja maan tai maahan johtavassa yhteydessä olevan osan väliseksi eristysviaksi. Käytännössä näin voi käydä esim. kaivinkoneen vaurioittaessa maakaapelin eristystä, jolloin johdin pääsee kosketuksiin maan kanssa. Maasulkuvirta vaikuttaa maadoitusjännitteeseen ja aiheuttaa tätä kautta vaarajännitteitä. Vikoja voi esiintyä samanaikaisesti useassa vaiheessa, jolloin on kyse yksi-, kaksi- ja kolmivaiheisista maa-oikosuluista.

Jos eri vaiheiden eristysviat tapahtuvat eri kohdissa, puhutaan kaksois- tai kolmoismaasulusta. Kaksoismaasulku muodostuu yleensä seurannaisvikana yksivaiheisesta maasulusta terveiden vaiheiden jännitteen nousun johdosta tai maasulun alkutilan muutosilmiöiden seurauksena. Maasulku voi olla myös kuorman puoleisen johtokatkeaman aiheuttama. Maasulkutilanteita on esitetty kuvassa 4.[10.]



Kuva 4. Maasulkutapauksia [10]

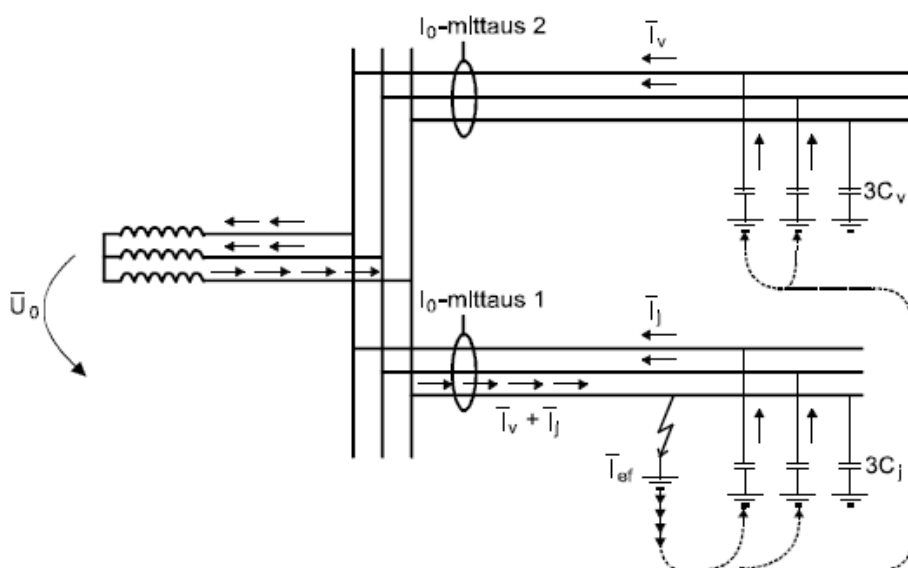
Verkon maadoitustapa vaikuttaa olennaisesti vikavirtoihin. Maadoitustavat jaetaan kahteen pääryhmään: tehollisesti ja ei-tehollisesti maadoitettuun verkkoon. Nämä ryhmät jaetaan vielä alaryhmiin. Ei-teholliseen ryhmään kuuluvat induktanssien ja resistanssien kautta maadoitetut, kompensoidut ja maasta erotetut verkot. Liitteestä 1 nähdään eri maadoitusratkaisujen tunnuslukuja. Käyttömaadoitetussa verkossa maasulku on yksivaiheisen oikosulun kaltainen ja vikavirta saadaan laskettua verkon impedanssien avulla.

la. Maasta erotetussa ja kompensoidussa verkossa on tunnettava koko galvaanisesti yhteenkytketty verkko, jotta maasulkuvirrat ja -jännitteet voidaan määrätä.[8;10;19.]

## 4.2 Maasta erotetun verkon maasulku

Maasta erotetussa verkossa ei ole maahan johtavaa yhteyttä muualla, kuin jännitemuuntajien kautta. Terveessä tilanteessa vaihejännitteiden summa on maahan nähden nolla, eli jännitteet ovat symmetrisiä. Maasta erotetun verkon maasulussa verkon kaikkien vaiheiden ja verkon tähtipisteen jännitteet muuttuvat, ja verkon eri osissa esiintyy johtojen maakapasitanssin aiheuttamia kapasitiivisia vikavirtoja.

Maasulkutilanteessa terveiden vaiheiden vaihejännitteet kasvavat lähes pääjännitteen suuruiseksi maahan nähden ja nollajännite voi kasvaa lähes vaihejännitteen suuruiseksi riippuen vikaresistanssista. Tämän johdosta varausvirtojen summa poikkeaa nolasta ja varausvirta pääsee kulkemaan vikapaikan kautta maahan. Tilannetta havainnollistaa kuva 5 [8;10.]



Kuva 5. Maasulkuvirran muodostuminen maasta erotetussa verkossa [10]

Maasulkuvirralla on kulkureitti vikapaikasta johtojen maakapasitanssien ja vaihejohtimien impedanssien kautta päämuuntajan käämityksiin ja sieltä edelleen viallisen vaiheen kautta vikapaikkaan.[10.]



Vikaresistanssittomassa maasulussa voidaan maasulkuvirran itseisarvo laskea yhtälöllä 1

$$I_e = \sqrt{3} \omega C_0 U, \text{ missä} \quad (1)$$

$C_0$  = verkon yhden vaiheen maakapasitanssi

$U$  = pääjännite

$$\omega = 2\pi f.$$

Kaapeleille on valmiiksi laskettuja taulukoita joiden avulla voidaan määrittää maasulkuvirta tuntemalla kaapelin pituus ja laji.

Usein maasulkutilanteissa esiintyy vikaresistanssia, jonka vaikutuksesta maasulkuvirta pienenee. Pienentynyt arvo voidaan laskea yhtälöllä 2

$$I_{ef} = \frac{\sqrt{3}\omega C_0}{\sqrt{1+(3\omega C_0 R_f)^2}} * U, \text{ missä} \quad (2)$$

$C_0$  = verkon yhden vaiheen maakapasitanssi,

$R_f$  = vikaresistanssi ja

$U$  = verkon pääjännite.

Avojohtoverkoissa maasulkuvirta saadaan riittävän tarkasti laskettua yhtälöllä 3

$$I_e \approx \frac{U \cdot l}{300}, \text{ missä} \quad (3)$$

$U$  = pääjännite [kV] ja

$l$  = galvaanisesti yhteen kytketyn verkon pituus [km].

Edellä olevien kaavojen avulla laskettu vikapaikan virta on viallisesta vaiheesta maahan kulkeva virta. Taustaverkon syöttämä maasulkuvirta saadaan laskettua yhtälöllä 4

$$\sum I_v = \frac{C_0 - C_{0j}}{C_0} * I_{ef}, \text{ missä} \quad (4)$$

$C_{0j}$  = suojattavan johdon yhden vaiheen maakapasitanssi

$C_0$  = verkon yhden vaiheen maakapasitanssi.

Mikäli johdoille on laskettu itsensä syöttämä maasulkuvirta vikaresistanssitomassa (suorassa) maasulussa, saadaan taustaverkon syöttämä maasulkuvirta yhtälöllä 5

$$\sum I_v = \frac{I_e - I_{ej}}{I_e} * I_{ef}, \text{ missä} \quad (5)$$

$I_e$  = verkon kokonaismaasulkuvirta suorassa maasulussa

$I_{ej}$  = johdon syöttämä maasulkuvirta suorassa maasulussa

$I_{ef}$  = vikaresistanssin pienentämä maasulkuvirta

Maasulku aiheuttaa myös nollajännitteen verkon tähtipisteen ja maan välille maasulkuvirran aiheuttaman jännite-epäsymmetrian vuoksi. Nollajännite saadaan laskettua yhtälöllä 6 [10.]

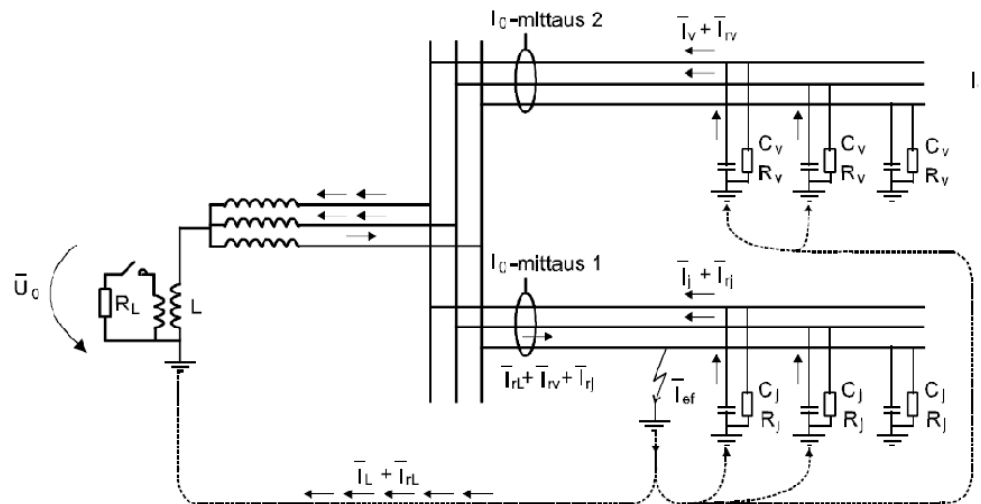
$$U_0 = \frac{1}{3\omega C_0} * I_{ef} \quad (6)$$

### 4.3 Kompensoidun verkon maasulku

Kompensoidussa verkossa verkon yhteen tai useampaan muuntajan tähtipisteeseen on kytketty kompensointikela eli kuristin. Kompensoinnissa kuristimen induktiivinen reaktanssi mitoitetaan ja asetellaan lähelle verkon kapasitiivisen reaktanssin arvoa. Näin saadaan pienennetyksi maasulkuvirtaa ja vikapaikan jännitettä loivennetuksi. Pienempi maasulkuvirta parantaa mahdollisuuksia valokaarimaasulun itsestään sammumiseen sekä mahdollistaa myös pidemmät laukaisuajat ja hälyttävän maasulkusuojauksen sallittujen maadoitusjännitteiden rajoissa.

Maasulun aikana suuresta keskijänniteverkon jännite-epäsymmetriasta huolimatta jakelumuuntajien toisiojännitteet ovat normaalit, jos ensiököämit on kytketty kolmioon. Tämän vuoksi asiakasjännitteet ovat normaalit. Pienen vikavirran sekä normaalin toisiojännitteen vuoksi verkkoa voidaan käyttää viikatilanteesta huolimatta, mikäli muut edellytykset täyttyvät. Nämä edellytykset ovat SFS standardissa 6001–9.2.4 ja 9.8 (liite 2).

Kompensoinnissa maasulun aikana maakapasitanssien kautta kulkevien virtojen summa on lähes yhtä suuri, kuin kuristimen kautta kulkeva virta. Virrat ovat vastakkaissuuntaisia, joten ne kumoavat toisensa. Voidaan ajatella, että virrat kumoutuvat muuntajan tähtipisteessä, jolloin vikaantuneeseen vaiheeseen ei summaudu maasta erotetun verkon tavoin kapasitiivista loisivirtaa. Seuraava kuva 6 havainnollistaa tilannetta[8;10;11.]:



Kuva 6. Maasulkuvirran muodostuminen kompensoidussa verkossa [10]

Kompensointi voidaan toteuttaa keskitetysti tai hajautetusti (kuva 7). Keskitetysti kompensoidulla verkolla kuristimet sijaitsevat sähköasemilla esimerkiksi päämuuntajien tähtipisteessä. Monesti joudutaan käyttämään maadoitusmuuntajaa, jolla muodostetaan keinoitekoinen tähtipiste.

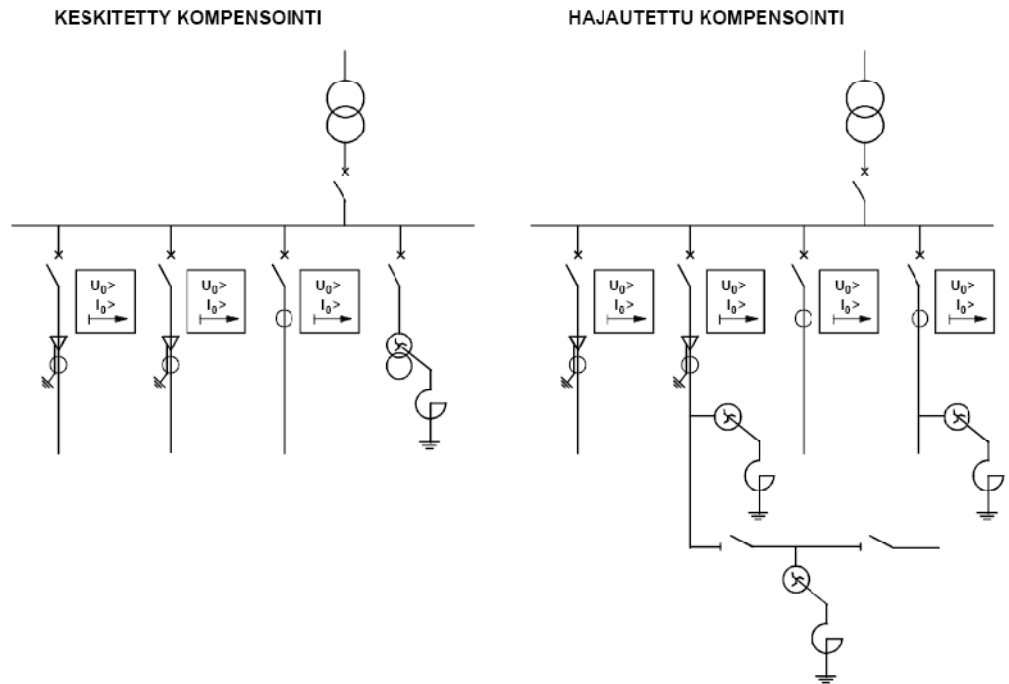
Hajautetussa kompensoinnissa kuristimet sijoitetaan verkolle johtojen varsille. Kuristin mitoitetaan kyseisen johdon kapasitiivisen maasulkuvirran mukaisesti. Tällöin tyypillisesti vain osa verkon maasulkuvirrasta kompensoidaan, jotta yksittäiset johdot eivät ylikompensoituisi.

Kompensoinnin määrää kuvataan kompensointiasteella,  $K$ . Tämä riippuu verkon ominaisuuksista, suojauksen parhaan toiminnan saavuttamisesta sekä terveen tilan nollajännitteen optimoinnista. Verkko on täysin kompensoitu, kun  $K$  on yksi tai lähellä sitä. Kun verkko on täysin kompensoitu, ollaan resonanssipisteessä ja tällöin terveen tilan nollajännite on suurimmillaan. Jos  $K$  on yli yksi, verkko on ylikompensoitu ja jos se on alle yksi, niin verkko on alikompensoitu.  $K$  voidaan laskea yhtälöllä 7 [10.]

$$K = \frac{I_L}{I_C}, \text{ missä} \quad (7)$$

$I_C$  = kapasitiivinen maasulkuvirta suorassa maasulussa

$I_L$  = kuristimen virta suorassa maasulussa



Kuva 7. Kompensoinnin toteuttamistavat [10]

Kun verkko on täysin kompensoitu, vikapaikan kautta kulkee vain jäännösvirtaa, joka muodostuu kuristimen ja verkon johtimien resistansseista, verkon resistiivisistä vuotovirroista sekä mahdollisen lisävastuksen aiheuttamasta pätövirrasta. Vikapaikan virta saadaan laskettua yhtälöllä 8.[10;12.]

$$I_{ef} = \frac{\sqrt{1 + R_0^2 \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}}{\sqrt{(R_f + R_0)^2 + R_f^2 R_0^2 \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} * \frac{U}{\sqrt{3}}, \text{ missä} \quad (8)$$

$\omega L$  = kompensointikuristimen reaktanssi

$R_0$  = kompensointikuristimen ja verkon häviöitä vastaavan resistanssin sekä mahdollisen kuristimen toisioresistanssin tähtipisteeseen redusoitu kokonaisresistanssi

$R_f$  = vikaresistanssi

Kun verkko on täysin kompensoitu, vikavirta saadaan laskettua yhtälöllä 9

$$I_{ef} = \frac{1}{R_0 + R_f} * \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

Maasulkutilanteessa nollajännite suurenee. Nollajännite on maasulkuvirran ja verkon maakapasitanssien, kuristimen induktanssin sekä häviöresistanssien rinnankytkennän impedanssin tulo. Nollajännite saadaan yhtälöllä 10

$$U_0 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_0}\right)^2 + \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} * I_{ef} \quad (10)$$

ja jos verkko on täysin kompensoitu, yhtälöllä 11

$$\frac{U_0}{U_V} = \frac{R_0}{R_0 + R_f} \quad (11)$$

Suojauksen kannalta on usein tarpeellista selvittää lähtöjen vaihevirtojen summavirran pätökomponentti, ts. vikapaikan virran pätökomponentti. Tämä saadaan likimain yhtälöllä 12

$$I_{efp} = \frac{1}{\sqrt{(R_f + R_0)^2 + R_f^2 R_0^2 \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} * \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (12)$$

Vaihevirtojen summavirran suuruus saadaan kaavalla 13 ja vaihekulma negatiiviseen nollajännitteeseen nähden yhtälöllä 14.

$$\sum I_V = \frac{\sqrt{[(1-K)I_e - I_{ej}]^2 + (I_r - I_{rj})^2}}{\sqrt{[(1-K)I_e]^2 + I_r^2}} * I_{ef} \quad (13)$$

$$\varphi = -\arctan\left(\frac{(1-K)I_e - I_{ej}}{I_r - I_{rj}}\right), \text{ missä} \quad (14)$$

$I_e$  on verkon kapasitiivinen kokonaismaasulkuvirta suorassa maasulussa,  $I_{ej}$  on johdon syöttämä kapasitiivinen maasulkuvirta suorassa maasulussa,  $K$  on kompensointiaste,  $I_r$  on kompensointikuristimen ja verkon häviöiden sekä kuristimen toisioresistanssin aiheuttama pätövirta suorassa maasulussa,  $I_{rj}$  on lähdön häviöiden aiheuttama pätövirta suorassa maasulussa ja  $I_{ef}$  on vikaresistanssin vaikutuksesta pienentynyt maasulkuvirta.[10.]

*Maasulkuvirran kompensointi HSV:llä*

HSV:llä otettiin ensimmäinen osa kompensoitua verkkoa käyttöön 20 kV:n jännitetasoon kesällä 2009. Verkon kompensointi on toteutettu keskitetysti ja kompensointikelat on kytketty suoraan päämuuntajan toision tähtipisteeseen. Verkko on ylikompensoitu noin 5 A (lähes täysin kompensoitu), jolloin maasulkuvirran suuruudeksi jää vain ylikompensointivirran sekä häviöpätövirran osuus joiden suuruus on noin 5 A:n luokkaa. Häviöpätövirta on noin 2 A:n luokkaa, ja suurin osa tästä muodostuu kompensointikelan resistiivisistä häviöistä. Pätövirtaa lisätään kompensointikelan kanssa rinnan kytketyllä vastuksella noin 10 A, jotta suojarieleet havahtuisivat, ja näin ollen kokonaispätövirran suuruus on noin 10 - 12 A luokkaa.[12.]

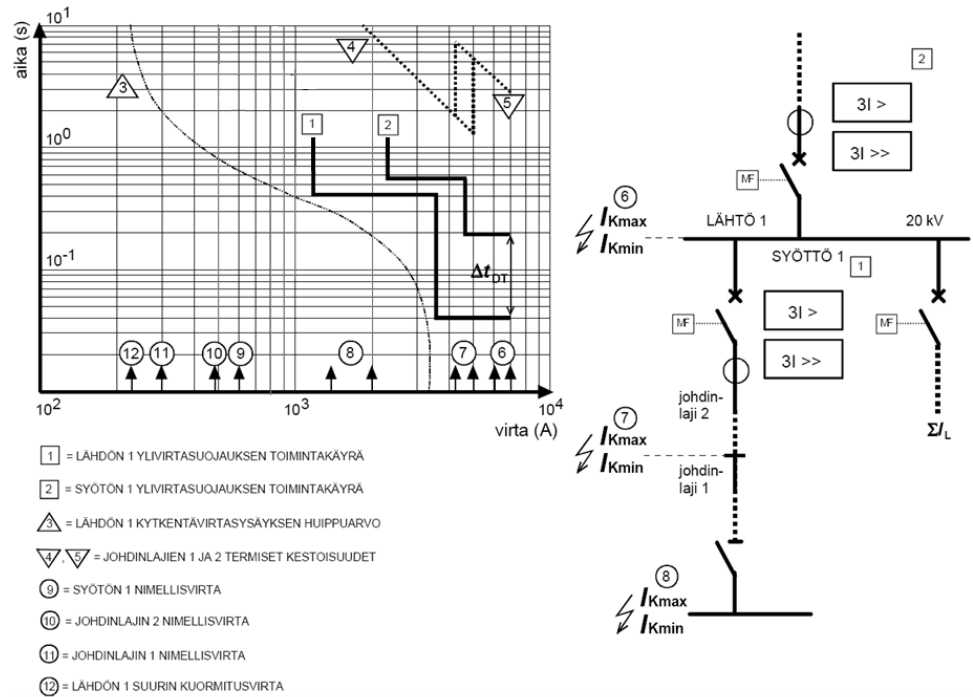
## 5 KJ-VERKON SUOJAUSPERIAATTEET

### 5.1 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojauksen toimintanopeudella on merkittävä vaikutus oikosulun aiheuttamiin haittoihin. Mitä nopeammin suojaus toimii, sitä pienemmiksi jäävät eri vaaratekijät, vahingot ja rasitukset. Nopealla suojan toiminnalla saadaan myös oikosulun aiheuttaman jännitekuopan kesto lyhyemmäksi. Näin alijännitteen haitta muulle verkolle jää mahdollisimman pieneksi.

Yksikertaisimpia tapoja selektiiviselle suojaukselle on aikaselektiivinen suojaus. Aikaselektiivisellä suojauksella on suuri vaikutus vika-aikoihin. Periaatteenä on porrastaa suojaus niin, että lähimpänä vikaa oleva rele toimisi ensin, jottei vika leviäisi syvemmälle verkkoon. Suojauksessa käytetään yleensä ylivirtareleitä vakioaikaisina tai käänteisaikaisina.

Käänteisaikaisia releitä käytetään lähinnä teollisuudessa ja niiden ero vakioaikaiseen ylivirtareleeseen on riippuvuus virrasta, eli releen toiminta-aika on kääntäen verrannollinen virran suuruuteen. Säteittäisesti käytettävän jakeluverkon oikosulkusuojaus toteutetaan yleensä vakioaikaylivirtareleillä. Kuvassa 8 nähdään esimerkki ylivirtasuojauksesta. Porrastusta laskettaessa on releen toiminta-ajan lisäksi otettava huomioon katkaisijan toiminta-aika ja suojalaitteiden varmuusaika.[13;16.]

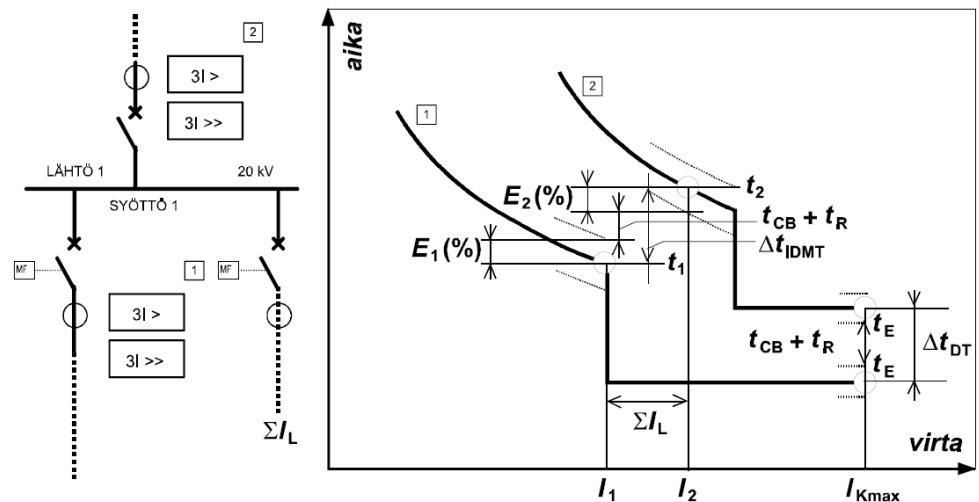


Kuva 8. Esimerkki säteittäisverkon ylivirtasuojauksesta ja sen selektiivisyyskäyrästä [16]

Selektiivisyyskäyrästä nähdään suojien toimintakäyrät (kuva 8). Vian tapahtuessa lähdön 1 loppupäässä, vikavirta on pisteen 8 tasolla. Tällöin releen yksi havahtumisen lisäksi havahtuu myös rele 2 syötössä 1. Ts. johto kuuluu releen 1 suojausalueen lisäksi releen 2 suojausalueeseen, jolloin muodostuu varasuojaus eli releen 1 tai sen ohjaaman katkaisijan toimimattomuus johtaa releen 2 laukaisuohjaukseen.

Porrasajan valinta on yksi tärkeä seikka selektiivisyyden kannalta. Porrasaika on peräkkäisten suojausportaiden toiminta-aikojen erotus. Kuvasta 9 nähdään porrasaikojen muodostuminen ja siihen vaikuttavat tekijät kaavio-muodossa. Kuvan 9  $I_1$  ja  $I_2$  ovat virta-arvot, joilla alempien portaiden välinen porrasaika määritetään,  $I_{kmax}$  on suurin oikosulkuvirta,  $t_{CB}$  on katkaisijan toiminta-aika,  $t_R$  on pyörtöaika,  $t_M$  on varmuusmarginaali ja  $t_l$  on vikakohtaa lähempänä olevan releen laskennallinen toiminta-aika.[16.]





Kuva 9. Porrassaikojen muodostuminen [16]

### HSV:n keskijänniteverkon oikosulkusuojaus

HSV:n kompensoidussa verkossa oikosulkusuojaus on toteutettu samalla periaatteella, kuin maasta erotetussa verkossa. Vakioaikaylivirtareleet laukeavat lähdön vikatilanteessa 0,8 sekunnissa. Aikojen asettelussa on otettu huomioon kj-asiakkaiden suojaus, johon on annettu ohjeajaksi 0,4 s. HSV:n omissa jakelumuuntamoissa on yleisesti käytössä varoketehoerotin, jossa varokkeen koko määräytyy muuntajan tehon mukaan. Muutamissa heikoissa lähdoissä on aikaviivästetyn suojausportaan lisäksi momenttilaukaisu, sillä ne eivät kestä 0,8 sekunnin vika-aikaa.

Jos havahtumistietoa (lukitustieto) ei tule vikaantuneesta lähdestä, laukeaa päämuuntajan ylivirtasuojaus momenttilaukaisuna ( $t \geq 0,1$  s). Tämä toimii ns. kiskosuojana, sillä tämän kaltaisessa tapauksessa vika voi olla sähköaseman kiskostossa lähdön sijaan. Jos havahtumistieto saadaan, mutta lähtö ei laukea 0,8 s kuluessa, toimii seuraava suojausporras, joka on ryhmäkatkaisija sähköaseman kiskostossa. Ryhmäkatkaisija laukeaa yleensä 1,0 sekunnissa vian ilmaantumisesta. Asettelu saattaa vaihdella asemittain riippuen lähtöjen laukaisuajasta. Tämän jälkeen on päämuuntajan ylivirtasuoja, joka laukeaa tarvittaessa 1,2 - 1,7 s kuluessa (riippuen sähköasemasta) vian havahtumisesta, jos lähdön ja ryhmän katkaisijat eivät laukea. Releiden asetteluajoja ylläpidetään asemittain taulukoituna (liite 3).[15;17.]

## 5.2 Maasulkusuojaus

Koska maasta erotetussa ja kompensoidussa verkossa maasulun vikavirta on pieni, joudutaan suojaus toteuttamaan eri tavoin kuin oikosulkusuojaus. Maasulun indikaattoreita on useita. Seuraavana on esitetty niistä muutamia:

- perustaajuisen tähtipistejännitteen muutos
- perustaajuisen vaihejännitteen muutos
- perustaajuinen summavirta
- virran ja jännitteen yliaallot
- suurtaajuiset muutosvirrat.

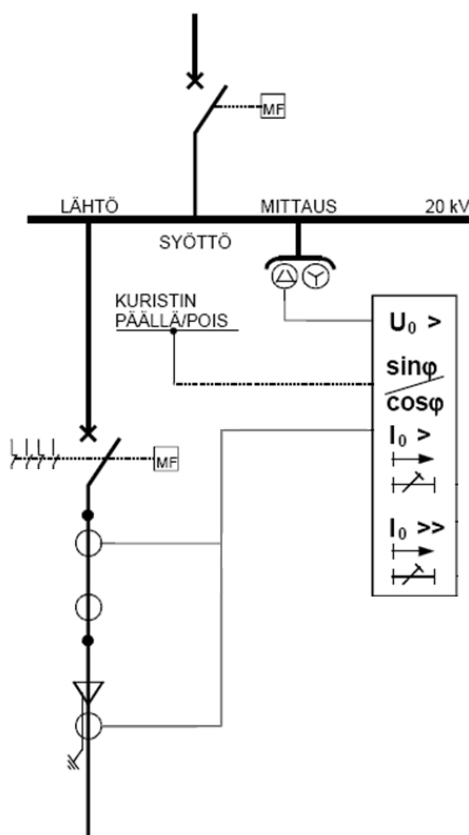
Maasulkusuojaus toteutetaan käytännössä yleensä maasulun suuntareleillä. Nämä sijaitsevat yleensä sähköasemilla ja niiden suojaus perustuu maasulun aiheuttamaan vaihevirtojen epäsymmetriaan ja tähtipistejännitteen kohoamiseen. Maasulkuvirta voidaan mitata vaihevirtamuuntajien summakytken, kaapelivirtamuuntajan tai vaihevirtasensorien avulla. Kaapelivirtamuuntajaa olisi hyvä käyttää aina, kun on tarpeen mitata hyvin pieniäkin maasulkuvirtoja ( $< 0,5 \text{ A}$ ) riippumatta nimellisvirtojen suuruudesta.

Tavanomaiset maasulkureleet on suunniteltu toimiviksi jatkuvan tilan sinimuotoisten jännitteiden ja virtojen kanssa, joten ne eivät välttämättä havaitse luotettavasti katkeilevia maasulkuja. Tämän vuoksi voidaan maasulun paikannukseen käyttää erillisiä paikannuslaitteita, joiden toiminta perustuu erilaisiin laskenta-algoritmeihin, kuten esimerkiksi transienttien ja harmonisten komponenttien havainnointiin ja laskentaan.[8;10.]

Kompensoidun verkon maasulkusuojaus perustuu virran pätökomponentin mittaamiseen, kun taas maasta erotetussa verkossa mitataan virran loiskomponenttia. Näin ollen releasetteluja täytyy muuttaa, jos kompensoidussa verkossa kompensointi otetaan pois ja verkkoa käytetään maasta erotetun verkon tavoin.

Tähtipistejännite mitataan yleensä vaihejännitteisiin kytkettyjen jännitemuuntajien toisiokäämien avokolmiokytkennästä. Kompensoidun verkon nollajännite voidaan mitata myös kompensointikelasta apukäämin avulla. Kuvasta

10 nähdään yleinen maasulkusuojauksen periaatekuva maasta erotetussa ja kompensoidussa verkossa.[8;10.]



Kuva 10. Lähdon maasulkusuojaus maasta erotetussa ja kompensoidussa verkossa [16]

Kompensoidussa verkossa terveen tilan nollajännite on suurempi kuin maasta erotetussa verkossa ja on suurimmillaan resonanssitilanteessa. Nollajännitereleet toimivat keskijänniteverkon varasuojina maasuluille. Maasulkusuojausten yleisestä releasettelusta löytyy esimerkki liitteestä 4.

Kaksoismaasulkusuojaus on todennäköisesti aina laukaiseva, sillä kaksoismaasulun vikavirta on monesti reilusti suurempi kuin yksivaiheisen maasulun vikavirta. Kaksoismaasulku laukeaa yleensä vikavirtasuojilla, mutta laukaisevan maasulkusuojausten tapauksessa lähtö voi lauketa myös maasulkusuojilla.[16.]

### *HSV:n keskijänniteverkon maasulkusuojaus*

HSV:llä on maasulkusuojuksessa käytössä hälyttävä suojaus 10 kV:n verkossa ja 20 kV:n kompensoidussa verkossa. Tämä tarkoittaa sitä, että maasulkutilanteessa voidaan verkon käyttöä jatkaa jännitteisenä maasulusta huolimatta, edellyttäen SFS 6001 standardissa mainittujen ehtojen täyttymistä. Yksi tärkeimmistä edellytyksistä on kosketusjännitteen pysyminen sallituissa arvoissa.(liite 2.)

HSV:llä on maasta erotetussa 20 kV:n verkossa laukaiseva suojaus. Maasulun laukaisu-aika on 0,3 - 0,5 sekuntia riippuen maasulkuvirran suuruudesta. Koko keskijänniteverkon suojaus on toteutettu maasulun suuntareleillä ja virran mittaus kaapelivirtamuuntajilla. Kompensoidussa verkossa releasettelujen muutos hoituu automaattisesti verkon maadoitustavan mukaan. Releet tunnistavat verkon maadoitustavan kompensointikelan erottimen asennosta.

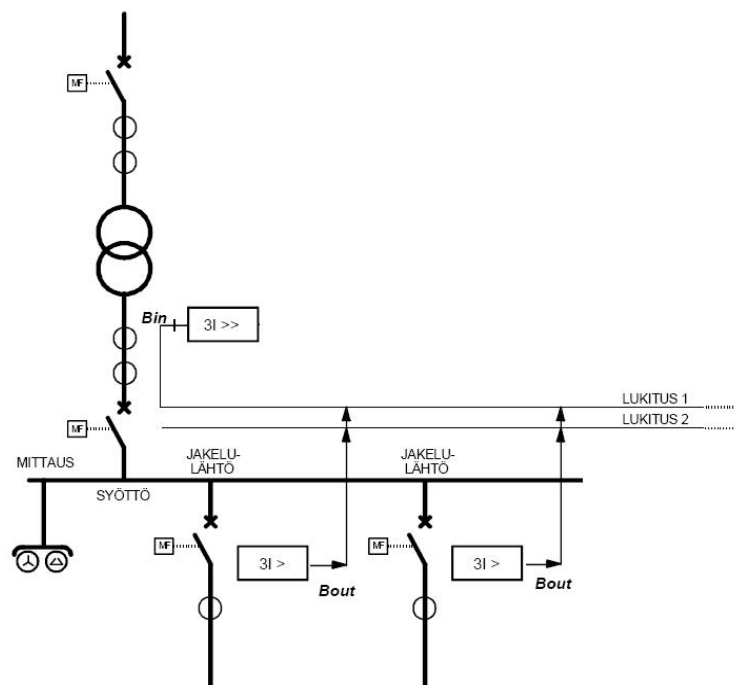
Pienen pätövirran ja katkeilevien maasulkujen vuoksi HSV:llä on käytössä maasulun suuntareleiden lisäksi maasulun lisäpaikannuslaitteisto joka perustuu maasulun aiheuttamien transienttien, harmonisten komponenttien sekä virran pätökomponentin mittaamiseen.

Nollajännitettä mitataan jännitemuuntajan avokolmiokäämityksestä. Kompensoidussa verkossa käytetään tämän lisäksi kuristimen omaa nollajännitemittausta paremman tarkkuuden vuoksi, sillä kuormitusten muutos vaikuttaa nollajännitteeseen. Nollajänniteasettelu on kompensoidussa verkossa suurempi kompensointikelan vuoksi. Lisäksi HSV:llä käytössä oleva virran injektointi (CIF) lisää terveen tilan nollajännitettä. Injektointilaitetta esitellään tarkemmin kappaleessa 6.2. Maasulun sattuessa nollajännitehavahtuma ei HSV:n verkossa laukaise katkaisijoita, vaan toimii hälyttävänä maasulkusuojaana. Maasulkuvian laajentuessa kaksoismaasuluksi vika laukeaa yleensä ylivirtalaukaisuna.[10;17;18.]

### 5.3 Kiskosuojaus

Keskijännitejakelujärjestelmän kokoojakiskoihin liittyy useita lähtöjä, joten ne ovat järjestelmän kriittinen elementti. Kiskosuojaus on usein toteutettu kysyöttökennon aikahidastetulla ylivirtareleellä. Suhteellisen halpa ja yksinkertainen tapa toteuttaa kiskosuojaus on käyttää informaatiovaihtoa syöttöjen ja päämuuntajan suojauksen välillä. Kaikkien lähtöjen ylivirtareleiden signaalit on kytketty rinnakkain päämuuntajan ylivirtareleeseen. Vika johtolähdöllä havahduttaa kyseisen lähdön suojareleen, jolloin rele lukitsee kiskosuojan. Tätä suojausmenetelmää kutsutaan ns. lukitussuojaksi. Jos vika sijaitsee keskijännitekiskostossa, lähtöjen suojareleet eivät havahdu ja päämuuntajan suojarele tulkitsee vian kiskoviaksi. Monesti ilmaeristeisillä kj-sähköasemilla käytetään lisäksi valokaarisuojausta, joka vaatii ylivirtahavahtuman toimiakseen. Kuvasta 11 nähdään periaatekaavio kiskosuojasta (lukitussuojaus).  $B_{out}$  on ulostuleva havahtumissignaali ja  $B_{in}$  sisäänmenevä lukitseva signaali.

HSV:llä on käytössä lukitussuojaus. Laukaisu tapahtuu momenttilaukaisuna ja  $t_{>} = 0,1$  s. Lisäksi käytössä on valokaarisuojaus, mutta sen anturointi ei ole kovin kattava.[19.]



Kuva 11. Periaatekaavio lukitussuojauksesta [16]

## 6 HSV:N KOMPENSOINTIPROJEKTI

Keskijänniteverkon kompensointia on pohdittu Helsingin Energiassa jo yli kymmenen vuotta. Sähkönjakelun toimitusvarmuuteen kiinnitetään entistä enemmän huomiota ja keskeytysten arvostustaso on noussut. Asiakkaiden ja sähkömarkkinaviranomaisten vaatimukset verkkoyhtiötä kohtaan ovat kasvaneet. Sähkömarkkinalain 9 §:n 1 momentin mukaan verkonhaltijalla on velvollisuus ylläpitää ja kehittää sähköverkkoaan ja sen yhteyksiä muihin verkkoihin asiakkaiden kohtuullisten tarpeiden mukaan ja turvata riittävän hyvänlaatuisen sähkön saanti.

Nämä edellä mainitut seikat ovat edesauttaneet kompensointihankkeen kehittämistä. Kompensointi tuo useita hyötyjä HSV:lle, joista tärkein on keskeytysten väheneminen hälyttävän maasulkusuojauksen myötä. Lisäksi kompensointi pienentää maasulkujen riskiä laajentua oikosuluiksi ja vähentää kj-laitteille, erityisesti jännitemuuntajille, aiheutuvia rasituksia. Kompensointi suunniteltiin otettavan käyttöön kaikkiin 20 kV:n sähköasemiin pilottihankkeen toteutuksen onnistumisesta riippuen muutaman vuoden aikajänteellä. Ensin kompensointi laajentuisi 20 kV:n asemille ja lopuksi vielä mahdollisesti 10 kV:n asemille.[12;20.]

### 6.1 Pukinmäen kj-verkon kompensointiprojekti

Ensimmäinen kohde, johon kompensointia alettiin suunnitella, oli uusi Pukinmäen sähköasema. Pilottihankkeeksi valittiin uusi sähköasema helpomman toteutuksen vuoksi. Asema otettiin käyttöön kesäkuussa 2009. Asemalla on suoritettu kahdesti maasulkukokeita joista ensimmäiset olivat kesäkuun 2009 alussa ja viimeisimmät helmikuun 2010 alussa, mutta kokemusta todellisesta maasulkutilanteesta ei vielä ole. Kompensoidussa verkossa on tapahtunut yksi maasulku, mutta verkkoa ei oltu tuolloin kompensoitu virtainjektioilaitteen virhetoimintojen vuoksi, ja verkko oli erotetussa tilassa. Puolen vuoden sisällä kompensoidussa verkossa ei ole sattunut yhtäkään todellista maasulkua.[12;20.]

## 6.2 Pukinmäen laitteisto

### 6.2.1 Päämuuntajat

Sähköasemalla on kaksi 40 MVA päämuuntajaa omissa katetuissa muuntajatiloissa. Muuntajien tekniset tiedot ovat

$S=40 \text{ MVA}$ ,  $U_{n1}/U_{n2}=115 \pm 9 \times 1,67 \% /21 \text{ kV}$ ,  $YNyn0d$ ,  $z_k=12,5 \%$

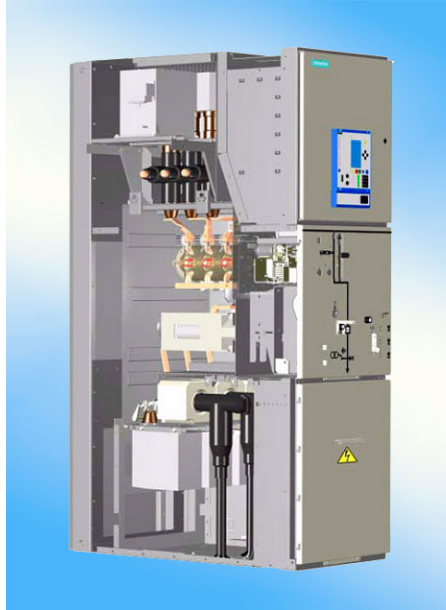
Muuntajat on kytketty 110 kV:n verkkoon, jonka symmetrisen oikosulkuvirran tehollisarvo on 40 kA ja epäsymmetrisen oikosulkuvirran huippuarvo on 100 kA. Muuntajat ovat Multirel/Koncar toimittamat ja ovat tyyppiä TRP 40000-123. Muuntajien kytkentäryhmä on YNyn0 ja toision tähtipiste virtakestoinen. Tämä mahdollistaa kompensointikelan suoran liittämisen toision tähtipisteeseen, jolloin erillistä maadoitusmuuntajaa ei tarvita.[20.]

### 6.2.2 20 kV:n kojeisto ja apusähköjärjestelmä

Asema on varustettu kaksiryhmäisellä 20 kV:n kaksikiskoerotinkojeistolla. Asemalla on 24 lähtökennoa, kaksi syöttökennoa, kaksi kiskokatkaisijakennoa, kaksi ryhmäkatkaisijakennoa, kaksi ryhmäerotinkkennoa, yksi omakäytön syöttökenno ja kaksi jännitemuuntajakkennoa. Kojeiston käyttöarvot ovat:

- nimellisjännite 3 ~ 50 Hz 20 kV
- suurin käyttöjännite 24 kV
- kokoojakiskojen, syöttö- ja ryhmäkennojen nimellisvirta 1600 A
- lähtökennojen nimellisvirta 630 A.

Kytkinlaitos on mitoitettu kahden rinnankäyvän päämuuntajan syöttävän oikosulkuvirran mukaan  $I_{1s}= 20 \text{ kA}$  ja  $I_{dyn}= 50 \text{ kA}$ . Apusähköjärjestelmät ja 20 kV kojeiston on toimittanut Siemens. Kojeiston tyyppi on NXPlus, SF6-eristeinen kojeisto (kuva 12). Kojeiston yleiskaavio löytyy liitteestä 5.[20.]



Kuva 12. 20 kV kenno [20]

Apusähköjännitteinä käytetään 110 V DC-suojaukseen ja hälytyksiin ja 400/230 V AC moottoreille, ohjauksiin yms.[20.]

### 6.2.3 20 kV:n ohjausjärjestelmä ja suojaus

Ohjausjärjestelmä sisältää asematason keskusyksikön, kennokohtaiset liityntäyksiköt, kojeiston ulkopuolisten tietojen I/O yksiköt sekä varakaukokäytön ala-aseman ja näiden välisen järjestelmäväylän. Liikennöinti-protokolla on IEC 61850. Kaikkiin katkaisijakennoihin ja omakäyttökennoon on sijoitettu liityntäyksiköt. Liityntäyksiköissä on integroitu suojaus. Kaikissa johtolähtökennoissa käytetään suunnattua ylivirtasuojaa ja suunnattua maasulkusuojaa.


Maasulkusuojaus toimii sekä maasta erotetussa että kompensoidussa verkossa. Suuntaamatonta ylivirtasuojaa käytetään syöttökennoissa, kiskokatkaisijoilla ja ryhmäkatkaisijoilla.  $U_0$ - suojaus on liitetty mittauskennojen avokolmiokäämmeille ja nollajännite on johdotettu kaikille lähtökennoille. Aseman toision nimellisvirta on 1 A. Ohjausjärjestelmän ja suojauksen on toimitanut Siemens. Ohjausjärjestelmä on tyyppiä SICAM PAS ja kennoyksiköt tyyppiä 7SJ63.[20.]



### 6.2.4 Kompensointilaitteisto

Kompensointilaitteisto on sijoitettu muuntajabunkkereihin niille varattuihin tiloille. Kummallakin päämuuntajalla on omat maasulkuvirran kompensointilaitteistot säätäjiineen ja apulaitteineen.

Kummatkin kuristimet ovat EGE:n valmistamat. Kuristimien tyyppi on ASR4.0P ja niiden säätöalue on 40 - 400 A. Kuristimien tarkemmat tekniset ominaisuudet löytyvät kuvan 13 arvokilvestä. Kuvassa 14 on yleiskuva kuristimesta ja kuvassa 15 nähdään kuristimen kaaviokuva.[12;20.]



EGE, spol. s r.o.  
Novohradská 34  
České Budějovice  
CZECH REPUBLIC

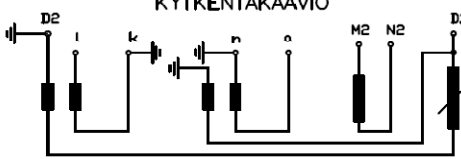
**PORTAATTOMASTI SÄÄDETTÄVÄ KOMPENSOINTIKELA**

LAJI <b>ASR4.0P</b>		VALM. NRO		IEC 289	
KOKONAISPAINO t		*		ART.	
NIMELLISJÄNNITE kV	12,12	OLJYN PAINO t	*	VALM. VUOSI	2009
TAAJUUS Hz	50	SIIRRETTÄVIEN OSIEN PAINO t	*	JÄÄHDYTYKSEN TAVOITTEET	ONAN
NIMELLISTEHO kVA	---	NIMELLISVIRTA A	---	KÄYTTÖ	JATKUVA
NIMELLISTEHO kVA	4848	NIMELLISVIRTA A	40-400	KÄYTTÖ	2h
IMPEDANSSI jatk. Ω	-	IMPEDANSSI 2h Ω	30,3-30,3	Um kV	24
KÄYTTÖMOOTTORI kW	0,55	3x400 V AC			

**TOISIOKÄÄMI**

LIITTIMET	JÄNNITE	VIRTA	TEHO	KÄYTTÖ
M2 - N2 V	500 ±10%	A 800	kVA 400	90s
a - n	V $\sqrt{21000/\sqrt{3}/100}$	VA 30	TARKK. LUOKKA	0,5
k - l	A 400/1	VA 30	TARKK. LUOKKA	1ΓS5

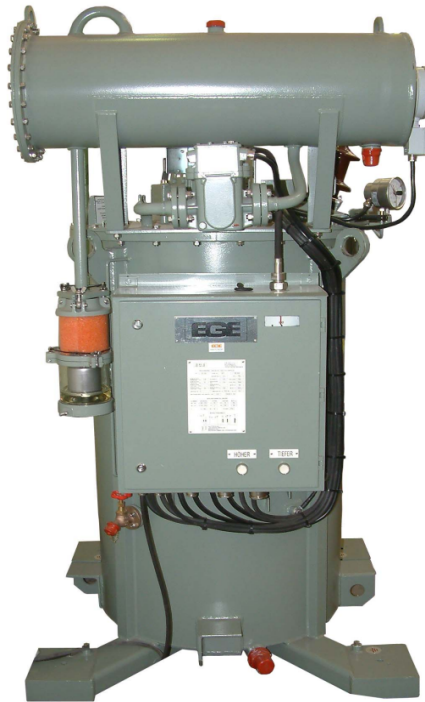
**KYTKENTÄKAAVIO**



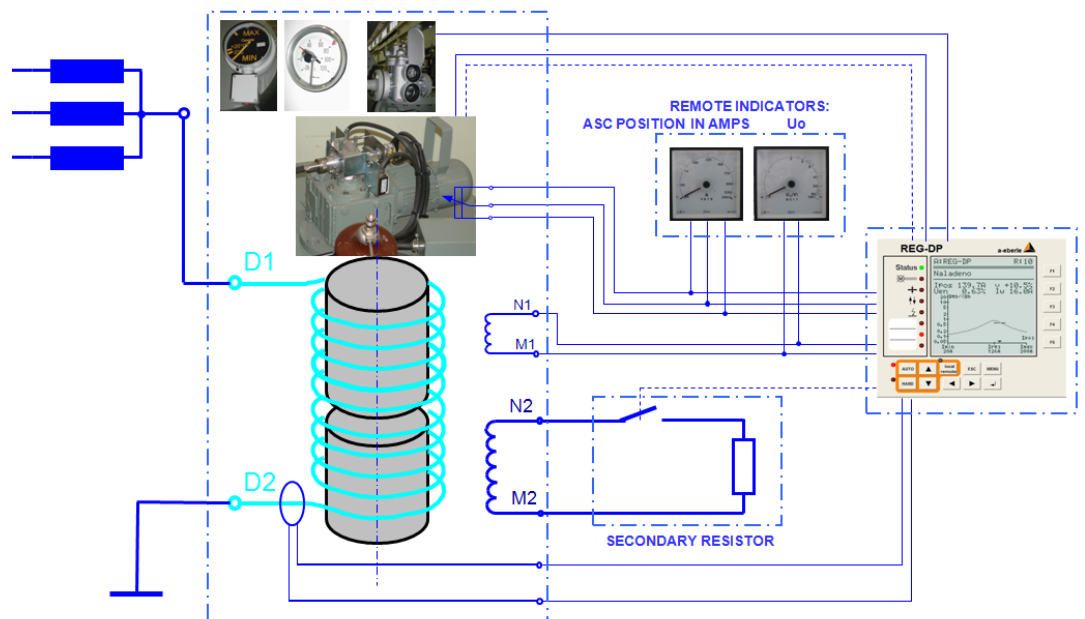
D1-D2  
 M2-N2  
 a-n  
 k-l

PÄÄKÄÄMI  
 KUORMITUSKÄÄMI  
 JÄNNITEMUUNTAJA  
 VIRTAM. TOISIOKÄÄMI

Kuva 13. Kuristimien tekniset tiedot [21]



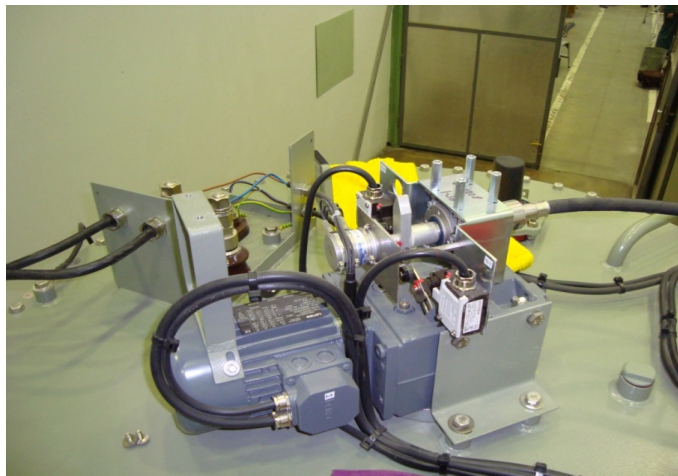
Kuva 14. Kompensointikuristin [22]



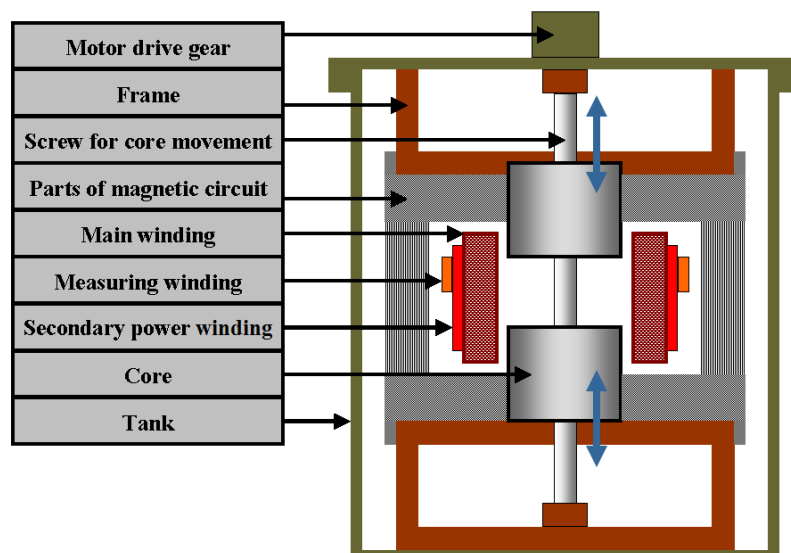
Kuva 15. Kuristimen kaaviokuva [22]

Kuristimissa on automaattinen portaaton säätö. Säätö onnistuu myös manuaalisesti. Säätöasetus määräytyy verkon koon mukaan. Säädön hoitaa säätömoottori (kuva 16), jonka teho on 0,55 kW ja käyttöjännite 400/230 V AC. Kuvasta 17 nähdään muun muassa kelan sylinterinmuotoinen sydän (core), jota säädetään kompensointiasteen mukaan; ensiö- ja toisiokäämi (main

winding, secondary power winding) sekä apukäämitys (*measuring winding*), josta saadaan mittaukset. Säästöasteen laskenta hoituu virtainjektiolaitteen (CIF) avulla. Käyttämällä virtainjektointia kelan turhat ja väärät säätökorjaukset vähenevät. Virtainjektiolaitte nimensä mukaan injektioi 45 - 55 Hz taajuisia virtaa verkkoon. Säättäjä reagoi automaattisesti verkon kytkentämuutoksiin ja muuttaa kelan asentoa verkon koon mukaan. Injektointi käynnistyy nollajännitteen muutoksesta ja vasta virtainjektioinnin jälkeen säättäjä säättää tarvittaessa kelaa, jos nollajännitteessä on tapahtunut suurempaa muutosta. Säättäjä myös tarkistaa verkon tilanteen 120 minuutin välein.[12;25.]



Kuva 16. Säättömoottori [12]

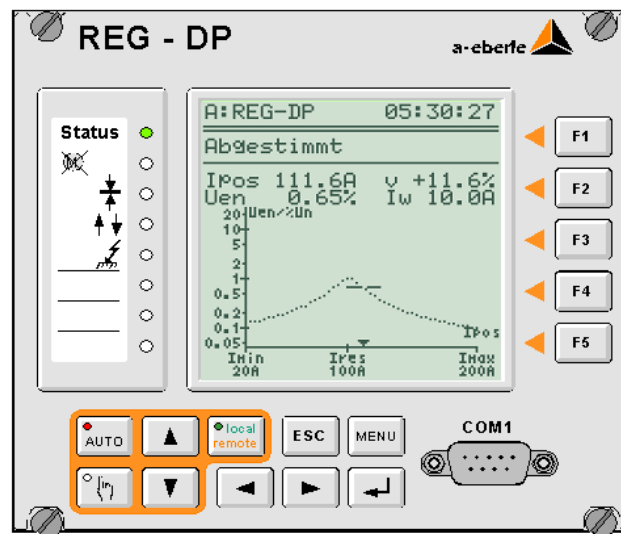


Kuva 17. Kuristimen poikkileikkaus ja sen säätöperiaate [12]

Kuristinta ohjaa muuntajakohtainen säätöyksikkö (REG-DP), joka sijaitsee relehuoneessa sähköasemalla. Säättöyksikkö kontrolloi virtainjektointia, au-

tomaattista säätöä ja lisävastusta. Sen kautta hoidetaan myös käsin paikallisohjaus. Säätöyksikön käyttö on hyvin samanlainen, kuin jännitteensäätöyksikön. Yksikössä on valittavana erilaisia kuvanäkymiä, kuten resonanssikäyrä, statistiikat, piirturi ja tilastonäyttö. Säätöyksikkö on esitetty kuvassa 18 ja laitteen tekninen data löytyy liitteestä 6.

Molemmissa kuristimissa on kauko-ohjattavat tähtipiste-erottimet. Kuristimien rinnalla on lisävastus (kuva 19), jolla lisätään maasulun pätökomponenttia releiden havahtumisen vuoksi. Maasulkutilanteessa vastus kytkeytyy automaattisesti päälle kolmen sekunnin viiveellä kolmeksi sekunniksi. Vastuksella on myös manuaaliohjausmahdollisuus, jolloin sitä voidaan käyttää päällä kolmen sekunnin jaksoja. Vastus on ilmajäähdytteinen ja sen käyttöjännite on 500 V, nimellisvirta 300 A, impedanssi  $1,67 \Omega$  ( $25/12,5/4 \times 8,33 \Omega$  vastukset rinnakkain) ja suurin päällä oloaika 90 sekuntia, jonka jälkeen vastuksen on jäähdyttävä.[12.]



Kuva 18. REG-DP säätöyksikkö [12]



Kuva 19. Lisävastus [12]

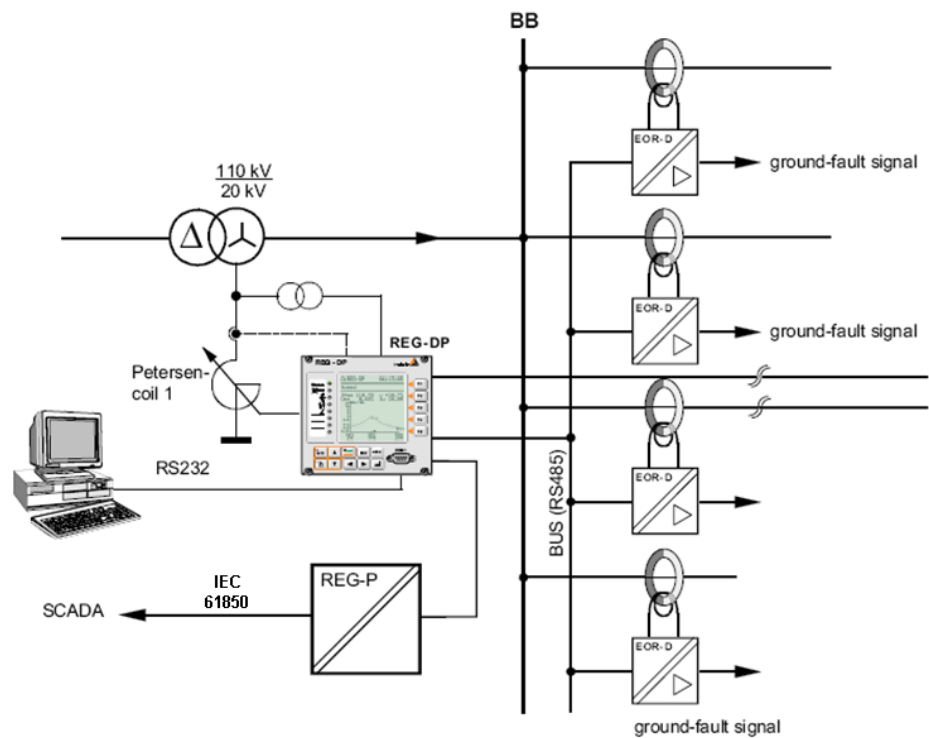
Pukinmäen sähköasemalla on maasulun suuntareleiden lisäksi lähtökohtaiset maasulun paikannuslaitteet (EOR-D) (kuva 20). Nämä havahtuvat ilman lisävastustakin ja havaitsevat myös suurimpedanssiset ja katkeilevat viat. Yhteen paikannuslaitteeseen on kytketty neljä lähtöä ja niitä on kuusi kappaletta.



Kuva 20. EOR-D maasulun paikannuslaite [23]

EOR-D lisäpaikannuslaitteiden periaate perustuu kolmeen menetelmään: transienttien havainnointiin, harmonisten komponenttien havainnointiin ja päätökomponentin havainnointiin. Ensimmäinen menetelmä perustuu maasulussa syntyvän alkutransientin mittaamiseen qu-algoritmillä. Vikaantuneella lähdöllä alkutransientti on suurempi, kuin terveillä lähdöillä. Alkutilan transientteihin vaikuttavat vian syntymishetki, vikaresistanssin suuruus ja vian etäisyys sähköasemalta. Transientti syntyy vain vian syttymishetkellä ja näin ollen hälytys tulee vain kerran. Toiminto havaitsee viat aina  $2\,000\,\Omega$  vikaimpedanssiin asti. Harmoninen paikannustapa perustuu virran viidennen harmonisen yliaallon mittaamiseen. Viidennen yliaallon impedanssi on viisinker-

tainen perusaaltoon nähden. Mittaus on kolme jaksoa, hälytysviive 10 sekunnin luokkaa ja hälytys on päällä koko maasulun ajan. Kolmas havainnointi perustuu virran pätökomponentin mittaamiseen. Tämä havainto saadaan vasta, kun lisävastus on käynyt automaattisesti päällä. Ohjaamalla lisävastusta käsin saadaan tarvittaessa uusi havainnointi. Paikannuslaitteet sijaitsevat sähköasemalla relehuoneessa. Laitteen tekniset tiedot löytyvät liitteestä 7. Paikannuslaitteiden ja REG-DP laitteen kaavioperiaate nähdään kuvasta 21.[24.]



Kuva 21. Säätyyksikön ja paikannuslaitteiden kaaviokytKentä periaatekuva [24]

## 7 KOMPENSOIDUN VERKON VIANHAKU HSV:N NÄKÖKULMASTA

Vianpaikannus kaapeliverkossa on usein hankalampaa, kuin avojohtoverkossa, koska vikoja ei voida havaita monesti silmin. Sähkönjakelukeskeytyksen kesto riippuu paljolti siitä, kuinka nopeasti vika saadaan haarukoitua ja viallinen johto-osuus erotettua verkosta. Vianpaikannus jaetaan kolmeen osaan. Ensimmäinen osio kuuluu sähköasematasoon, jossa viallinen johtolähtö paikannetaan erilaisin paikannusmenetelmin. Toinen osio on jakelumuuntamotaso, jossa pyritään löytämään viallinen erotinväli ja viallinen johto-osuus erotetaan verkosta sekä sähköt palautetaan kuluttajille toista reittiä pitkin. Viimeisessä osiossa pyritään löytämään tarkka vikapaikka erilaisilla kaapelitutkilla, syöksyaaltogeneraattorilla tai muulla menetelmällä.

20 kV:n kompensoidun verkon maasulkuvian haku poikkeaa maasta erotetun verkon vianhausta hälyttävän maasulkusuojauksen osalta. Hälyttävä suojaus aiheuttaa lisävaatimuksia suojaukselle ja sen laitteille sekä itse vianhakuun. Paikannuksen on toimittava molemmissa verkon käyttötavoissa, maasta erotetussa sekä kompensoidussa verkossa.

Maasulkuviat voidaan jakaa kahteen ryhmään: pieniresistanssisiin ( $R_f < 50 \Omega$ ) ja suuriresistanssisiin ( $R_f > 50 \Omega$ ) vikoihin. Näistä kahdesta haasteellisempia ovat suuriresistanssiset viat, sillä yleisesti paikannuslaitteilla on ollut ongelmia havaita näitä vikoja ja niitä on jouduttu jatkuvasti kehittämään. Toinen ongelmallinen tapaus maasulun paikannuslaitteilla ovat katkeilevat maasulut.[26;27.]

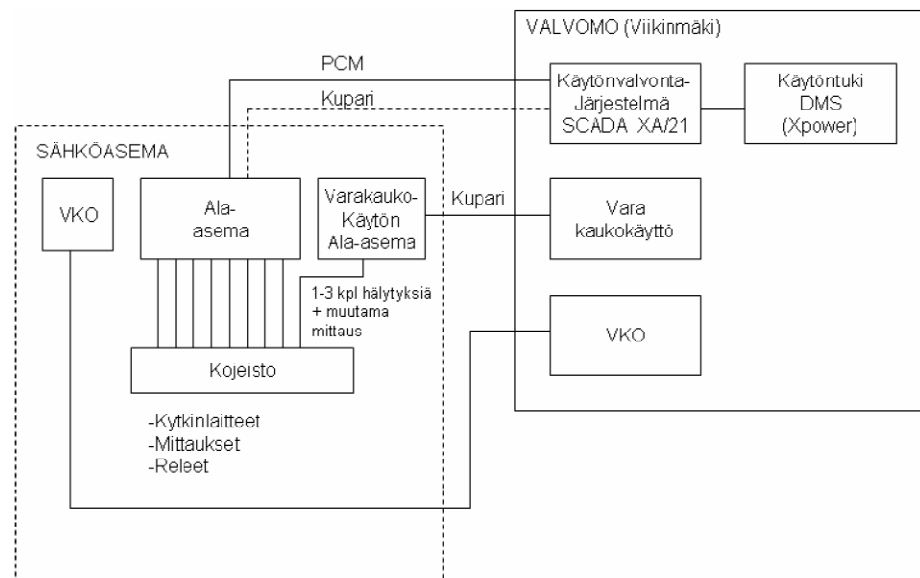
### 7.1 HSV:n käytönvalvonta

HSV:llä on käytössä XA/21 käytönvalvontajärjestelmä (SCADA). Järjestelmällä valvotaan, hallitaan ja ohjataan reaaliaikaisesti sähköverkkoa ja sähköasemia. Valvonta, ohjaus ja hallinta suoritetaan keskitetysti käyttökeskuksesta. Käyttökeskuksen tehtäviin kuuluu mm. verkon kauko-ohjaukset, häiriöselvitykset, valvonta ja tiedotus.

XA/21:llä on yhteys käytöntukijärjestelmään (DMS) ja sähköasemilla sijaitseville ala-asemille (RTU). Yhteys on toteutettu digitaalisella tiedonsiirrolla (PCM) ja varayhteytenä toimii kupariyhteys. Uusimmilla asemilla viestiyhteydet on toteutettu prosessiethernetverkon (ProLAN) yli ja vanhempien asemien PCM-yhteyksiä ollaan korvaamassa samalla tekniikalla. Erilaiset hälytyk-

set tulevat XA/21-järjestelmään käyttökeskukseen ala-asemien välityksellä, joihin on kytkettynä mm. kytkinlaitteet, suojareleet, kompensointilaitteistot sekä muut sähkölaitteet. XA/21:llä tehdyt sähköasemien ohjaukset ja asetukset sekä muuntamoautomaation tiedot päivittyvät automaattisesti DMS-käyttötukijärjestelmään.

Käytönvalvontajärjestelmän lisäksi on olemassa varakaukokäyttöjärjestelmä, joka ei ole riippuvainen pääjärjestelmästä. Varakaukokäyttöjärjestelmä koostuu pienkeskuskojeesta, josta käyttökeskus saa yhteishälytykset ja tietyt 110 kV:n mittaukset. Järjestelmä antaa yleisluontoisia hälytyksiä jolloin käyttökeskus voi lähettää henkilökuntaa hälytyksen antaneelle sähköasemalle. Kuvassa 22 on kuvattuna käytönvalvontajärjestelmä ja sen yhteydet.[27;29.]



Kuva 22. Käytönvalvontajärjestelmä [27]



## 7.2 Viallisen lähdön paikannus HSV:llä

Maasulkuvian syntyessä paikallis- ja kaukokäyttöjärjestelmiin tulee havahduma kelalta ja kiskon  $U_0$ - releiltä. Nollajännite on tällöin noin 11,5–12 kV:a ja kelan läpi menee sen asennon osoittama virta. Vikavirta saa maasulun suuntareleen havahtumaan, mutta lähtö ei laukea, vaan maasulusta lähtee hälytys vikaantuneesta lähdöstä edellä mainittuihin järjestelmiin.

Koska kompensoidun verkon maasulkuvirran pätökomponentti on hyvin pieni ja maasulun suuntarele on aseteltu mittaamaan virran pätökomponenttia, ei rele välttämättä havahdu. Tämän vuoksi kytkeytyy kelan lisävastus automaattisesti päälle kolmen sekunnin viiveellä kolmeksi sekunniksi lisäämään pätövirran osuutta, jolloin maasulun suuntarele havahtuu ja ilmoittaa vikaantuneen lähdön. Käytännön kokeissa releet ovat kuitenkin havahtuneet ennen lisävastuksen kytkeytymistä, sillä myös 50 Hz pätökomponentin osuus on suurempi alkutransientissa ja sen suuruus riippuu vian kytkeytymishetkestä.

Maasulun suuntareleet toimivat molemmissa verkon käyttötavoissa; kompensoidussa ja maasta erotetussa verkossa. Releiden asettelut hoituvat automaattisesti kelan erottimen asennon mukaan.

Suunnattujen maasulkureleiden lisäksi HSV:llä on maasulun paikannuslaitteisto (EOR-D), joka havahtuu maasulun syttyessä. Paikannuslaitteistosta tulee ensimmäiseksi transienttihavahtuma, joka ilmaisee vikaantuneen lähdön. Havahtuma tulee kerran heti vian syttyä. Seuraava paikannuslaitteiston hälytys tulee pätövirtahavahtumasta lisävastuksen automaattisen kytkennän yhteydessä. Hälytys tulee aina, kun lisävastus kytkeytyy päälle. Lisävastusta voidaan käyttää käsin päällä, esimerkiksi vikaa haarukoitaessa, korkeintaan 30 kertaa lyhyen ajan kuluessa. Tämän jälkeen vastuksen toiminta lukkiutuu jäähtymisen ajaksi. Vastus kytkeytyy aina automaattisesti pois kolmen sekunnin kuluttua kytkennästä.

Kolmas hälytys paikannuslaitteistosta on harmonisfunktion hälytys, joka tulee noin 10 sekunnin viiveellä. Harmonisfunktio jää havahtuneeksi koko vian ajaksi ja havaitsee myös vian siirtymisen eri lähdölle. Harmonisfunktio ja transienttifunktio ovat lisävastuksesta riippumattomia. Lisäpaikannuslaite havaitsee myös suurimpedanssiset viat ja katkeilevat maasulut. Taulukosta 2 nähdään yksinkertaistettuna hälytyslistaus maasulkutilanteesta. Listaa luetaan alhaalta ylös aikajärjestyksessä. Lisävastuksen automaattinen kytkentä

näkyä lihavoituna. Listasta on karsittu järjestelmän tekemät automaattiset kuittaukset ja lisävastuksen erillinen käsinohjaus. Liitteestä 8 löytyy taulukko josta nähdään kaikki hälytykset yhdestä maasulkukokeesta ilman lisävastuksen käsinohjausta.[26;27;28.]

*Taulukko 2. Karsittu hälytysluettelo [28]*

Aika ja päivämäärä	Asema	Kohteen nimi	Kuvaus
Tue Feb 09 15:07:50	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, harmoninen	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:49	Pu 20	PT02 Maasulkuhavahtuma	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:47	Pu 20	J36 W2B Kisko maasulkusuoja toiminut	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:47	Pu 20	J10 W2A Kisko maasulkusuoja havahtunut	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:47	Pu 20	J36 W2B Kisko maasulkusuoja havahtunut	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:47	Pu 20	J10 W2A Kisko maasulkusuoja toiminut	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:46	Pu 20	J04 Vuohi Maasulkusuoja havahtunut	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:46	Pu 20	J04 Vuohi Q0	Auki ohjattu
Tue Feb 09 15:07:06	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, harmoninen	Tullut
Tue Feb 09 15:07:04	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, pätövirta	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:02	Pu 20	PT02 Vastus päällä	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:02	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, pätövirta	Tullut
<b>Tue Feb 09 15:06:59</b>	<b>Pu 20</b>	<b>PT02 Vastus päällä</b>	<b>Tullut</b>
Tue Feb 09 15:06:57	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, transientti	Poistunut
Tue Feb 09 15:06:55	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, transientti	Tullut
Tue Feb 09 15:06:55	Pu 20	J10 W2A Kisko maasulkusuoja toiminut	Tullut
Tue Feb 09 15:06:55	Pu 20	J36 W2B Kisko maasulkusuoja toiminut	Tullut
Tue Feb 09 15:06:55	Pu 20	PT02 Maasulkuhavahtuma	Tullut
Tue Feb 09 15:06:53	Pu 20	J04 Vuohi Maasulkusuoja havahtunut	Tullut
Tue Feb 09 15:06:53	Pu 20	J10 W2A Kisko maasulkusuoja havahtunut	Tullut
Tue Feb 09 15:06:53	Pu 20	J36 W2B Kisko maasulkusuoja havahtunut	Tullut
Tue Feb 09 15:06:53	Pu 20	J04 Vuohi Q0	Kiinni ohjattu

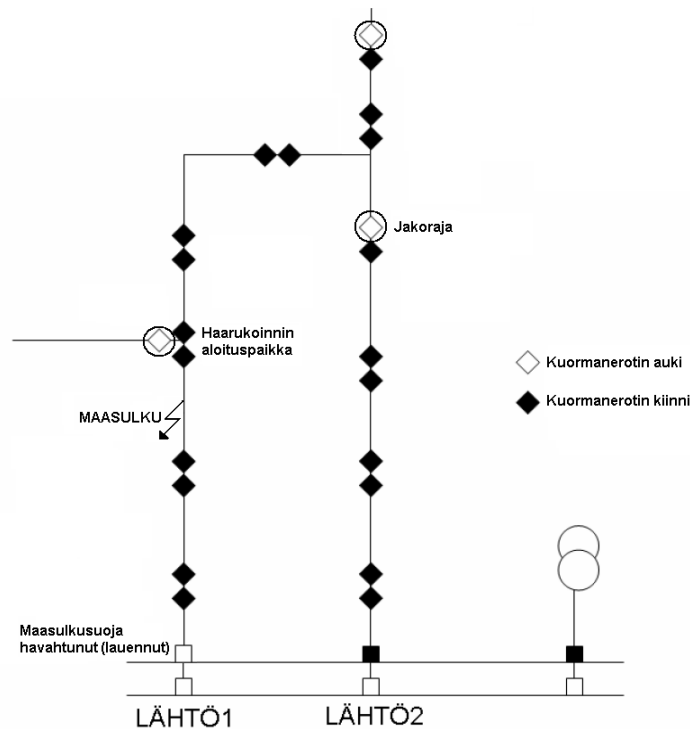
Hälytysten perusteella käyttökeskuksessa vastaava käyttömestari arvioi tilanteen ja ilmoittaa viallisesta lähdöstä verkon kytkijöille, jotka lähtevät suorittamaan verkolle mahdollisia paikalliskytkentöjä. Kaukokäytettävien muuntamoerottimien ja vikailmaisujen lisääntyessä paikalliskytkentöjen tarve vähenee ja kytkentöjä voidaan suorittaa käyttökeskuksesta.[27.]

### 7.3 Viallisen erotinvälin paikannus HSV:llä

HSV:n yleisperiaate erotinvälin löytämiseen on jakorajan siirto, kunnes vika saadaan haarukoitua ja eristettyä. Maasulkusuojauksen muuttuminen hälyttäviksi myös 20 kV:n puolella mahdollistaa sen, että vikaa voidaan haarukoida ilman katkosta asiakkaille.

Hälytyslistojen avulla saadaan tieto vikaantuneesta lähdöstä. Kun kyseessä on 20 kV:n maasta erotettu verkko, lähtö laukeaa, jolloin erotinväliä aletaan haarukoida kyseisellä johto-osuudella. Haarukointi aloitetaan suunnilleen johtolähdön ja johdon jakorajan puolivälissä olevasta muuntamosta, josta avataan muuntamon kuormanerotin (ks. kuva 23).

Tämän jälkeen vastaava käyttömestari ohjaa käyttökeskuksesta lähdön katkaisijan kiinni. Jos lähtö laukeaa uudelleen, toistetaan edellinen menettely siirtämällä jakorajaa lähemmäksi sähköaseman johtolähtöä. Jos taas lähtö ei laukea, vaan pysyy kiinni, jakorajaa siirretään kauemmaksi johtolähdöllä ja haarukointi jatkuu samalla periaatteella, kuin edellisessä tapauksessa. Tätä hakutapaa kutsutaan ns. puolitusmenetelmäksi. Puolitusmenetelmällä pyritään vähentämään turhia kokeilukytkentöjä ja nopeuttamaan vian paikannusta.[27;30.]



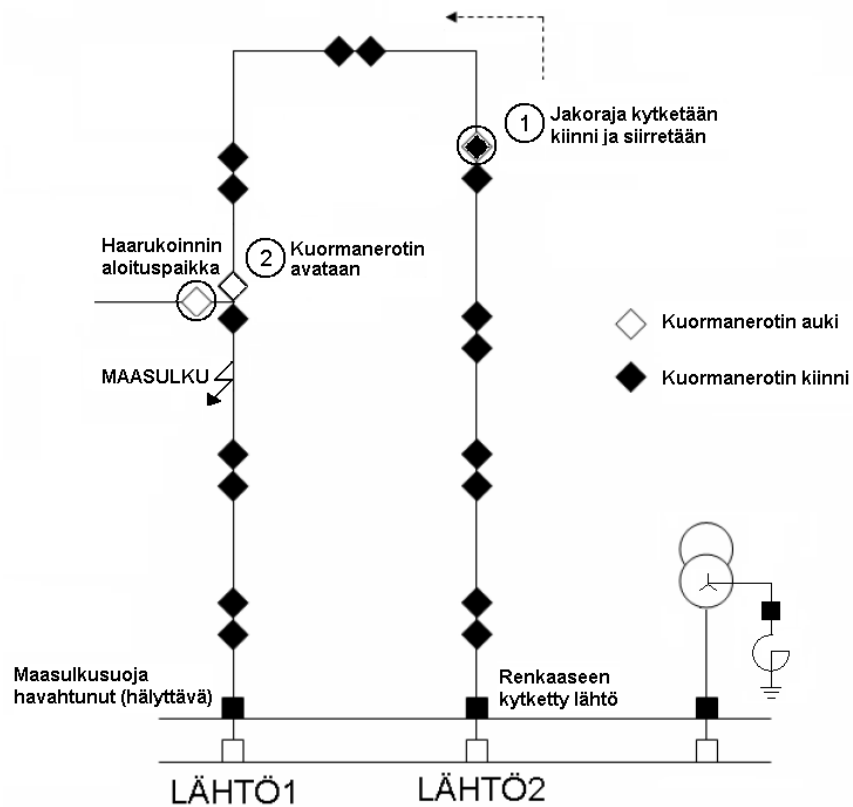
Kuva 23. Laukaisevan maasulun haarukointi

Kompensoidussa verkossa erotinvälin haarukointi noudattaa samoja periaatteita, kuin hälyttävässä 10 kV:n verkossa. Hälytysten perusteella tiedetään vikaantunut lähtö ja käyttömestari ilmoittaa viasta kytkijöille. Kytkejä kytkee vikaantuneen lähdön renkaaseen toisen lähdön kanssa, joka on samalla muuntajalla, kuin vikaantunut lähtö. Vikaantunutta lähtöä ei yhdistetä sellaiseen lähtöön, joka on kytkettynä toiseen muuntajaan, sillä maasulkuvirta tällöin suurenee ja oikosulun sattuessa vikavirta olisi huomattavasti suurempi.

Käyttömestari arvio ajan, joka kytkijöillä kuluu seuraavaan kohteeseen menoon ja tarvittaessa avaa renkaaseen kytketyn lähdön katkaisijan auki. Tiettyissä tapauksissa lähdön katkaisijaa ei avata, jos kohteeseen päästään hyvin lyhyessä ajassa tai kohteessa on kytkejä jo valmiina. Tämänkaltaisia tapauksia on kuitenkin hyvin harvoin. Renkaaseen kytketyn lähdön katkaisija avataan siirtymäajaksi, jotta mahdollisen oikosulun sattuessa paikannus ei hankaloituisi muuntamoiden kaikkien oikosulkuindikaattoreiden toimittua.

Lähtöjen yhteenkytkennän jälkeen ja kytkijöiden saavuttua kohteeseen, käyttömestari kytkee lähdön katkaisijan kiinni, jos tämä oli avattu siirtymäajaksi. Tämän jälkeen kytkejä avaa vikaantuneen lähdön puolivälissä olevasta muuntamosta kuormanerotin, jolloin nähdään, mille johto-osuudelle vika jää päälle. Jos vika siirtyy toiselle lähdölle, johon vioittunut lähtö kytkettiin, tiedetään maasulun olevan alkuperäisen jakorajan ja uuden jakorajan välillä (ks. kuva 24). Näin voidaan lyhentää vikaantunutta johto-osuutta, jolloin lopuksi viallinen erotinväli saadaan erotettua verkosta ja sähköt kytkettyä toista kautta kuluttajille.

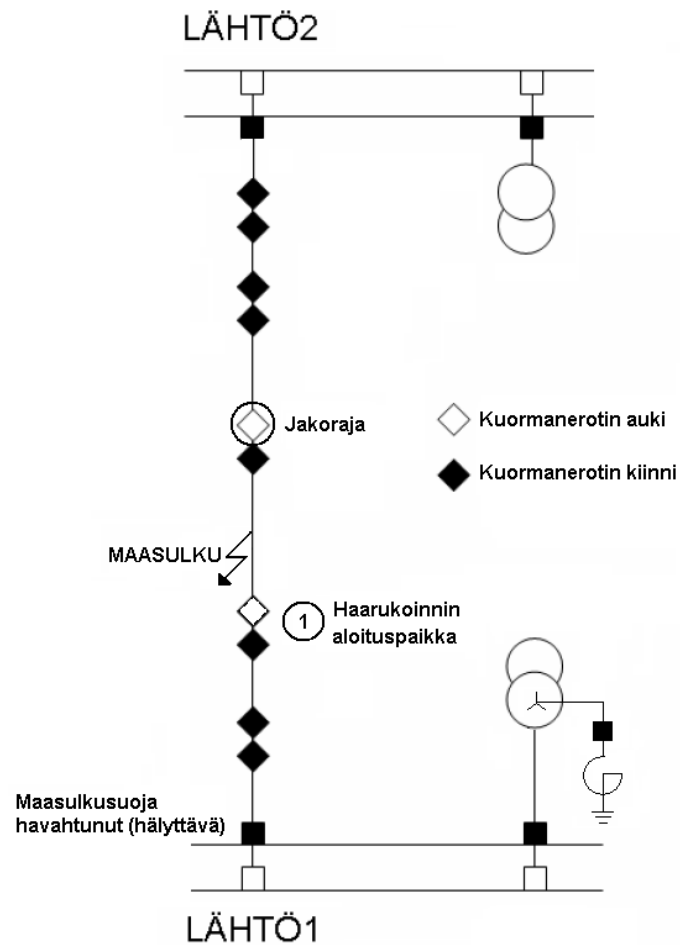
Jos vika ei siirry vaan jää samaan lähtöön, jossa vika ilmaantui, tiedetään maasulun olevan uuden jakorajan ja lähdön alkupään välissä, jolloin haarukointia jatketaan siirtämällä jakorajaa sähköasemalle päin. Lopuksi saadaan vikaantunut johto-osuus erotettua ilman, että asiakkaille koituu sähkökatkosta.[27;30.]



Kuva 24. Hälyttävän maasulun haarukointi

Kuvasta 24 nähdään tilanne, jossa lähdöt yksi ja kaksi ovat kytketty renkaaseen (1) ja kuormanerotin avattu viallisen lähdön puolivälistä (2). Kuvan tapauksessa maasulku ei siirry vaan pysyy lähdöllä yksi, joten tiedetään, että vika rajoittuu aseman ja uuden jakorajan välille.[30.]

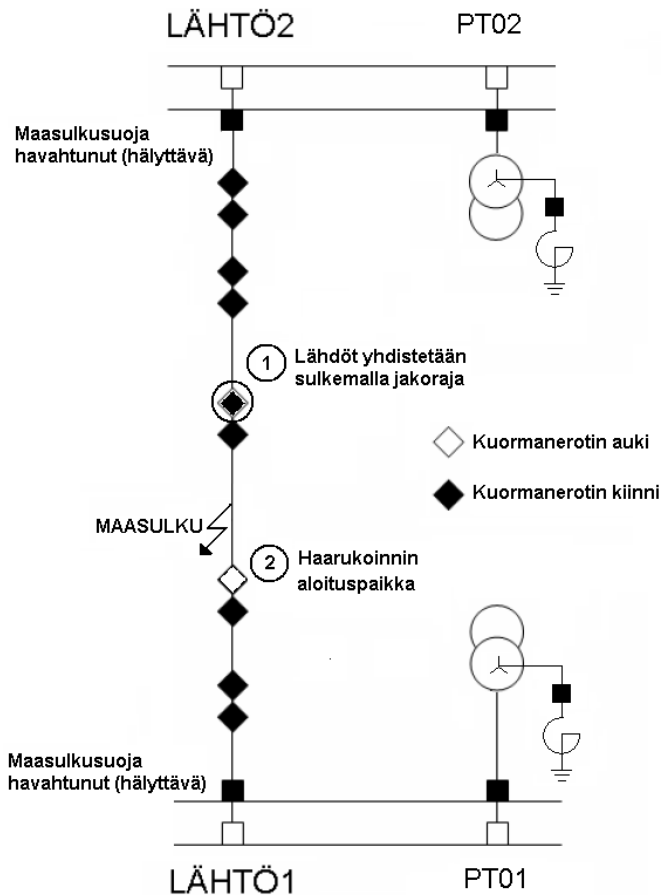
Maasulkutilanteessa haarukointi joudutaan tekemään lyhyiden katkojen kautta, jos vikaantunut lähtö on kahden aseman välillä, joiden päämuuntajilla on eri maadoitustapa ja lähtöä ei voida kytkeä samalla muuntajalla olevalle lähdölle (ks. kuva 25). Tällöin lähdön katkaisijaa ei avata ja haarukointi aloitetaan kuvan 25 mukaan lähdön puolivälistä (1) ja edetään kunnes vika on saatu eristettyä. Asiakkaat, jotka sijaitsevat erotettavalla osuudella, kokevat lyhyen katkoksen erotuskokeilujen välissä.[31.]



Kuva 25. Haarukointi sähköasemien välillä (poikkeavat maadoitustavat)

Kompensoidussa verkossa voidaan kytkeä vikaantunut lähtö eri muuntajan perässä olevaan lähtöön, jos muuntajilla on sama maadoitustapa. Vikaantunut lähtö voidaan kytkeä esimerkiksi saman sähköaseman toisen päämuuntajan perässä olevaan lähtöön tai lähtöön, joka sijaitsee toisen sähköaseman päämuuntajan perässä. Tällöin molempien muuntajien kompensointikelat on otettava käsikäytölle ennen kytkentää, jottei verkko ylikompensoituisi molempien säätäjien nähdessä laajentuneen verkon.

Molempien verkkojen ollessa kompensoituja ei maasulkuvirta muodostuisi ongelmaksi sen ollessa vain ylikompensointi- ja jäännöspätövirran luokkaa. Yhteenkytkennän jälkeen terveessä tilassa olleen lähdön suojat havaitsevat maasulun ja näin voitaisiin edetä samalla periaatteella, kuin tilanteessa, jossa lähdöt olivat samalla muuntajalla (ks. kuva 26).[31;32.]



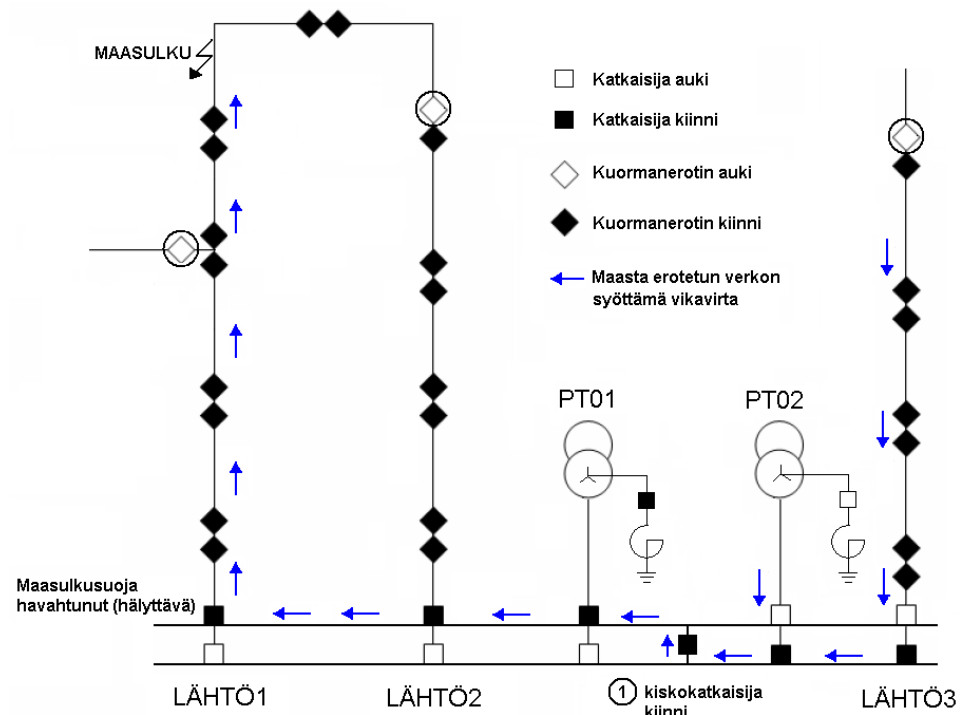
Kuva 26. Haarukointi usean muuntajan tilanteissa (yhtenevät maadoitustavat)

Kuvassa lähdöt on yhdistetty kytkemällä kuormanerotin kiinni (1), jonka jälkeen vikaa on alettu haarukoimaan avaamalla kuormanerotin kohdassa 2. Tässä tapauksessa vika on siirtynyt lähdölle kaksi, jolloin lähdön paikannuslaitteen harmonisfunktio jää hälyttämään ja lähdön yksi harmonisfunktio lakkaa hälyttämästä. Lisäksi maasulun paikka voidaan tarvittaessa varmistaa käyttämällä PT01 kompensointikelan lisävastusta päällä, jolloin lähdön yksi ei pitäisi havahtua pätövirrasta.

Käyttämällä PT02 kompensointikelan lisävastusta päällä saadaan lähdön 2 pätövirtafunktioiden hälytykset harmonishälytyksen lisäksi. Näin joudutaan toimimaan etenkin, jos maasulun lisäpaikannuslaitteisto ei olisi käytössä, jotta maasulun suuntarele havaitsisi vian.

Ongelmallisin tilanne useiden muuntajien käytössä on tapaus, jossa saman sähköaseman muuntajilla on eri maadoitustapa. Jos maasulku tapahtuu kompensoidun verkon puolella, lähtö ei laukaise vikaa. Tällöin maasta erotettu puoli syöttää kapasitiivista virtaa kisko- tai ryhmäkatkaisijan (kuva 27,

kohta 1) läpi, sillä näillä katkaisijoilla ei ole maasulkusuojausta, jolloin ne eivät laukea. Tämän vuoksi muuntajat tulee kytkeä samalle maadoitustavalle ennen rinnankytkentää. Maasta erotetulla puolella tätä ongelmaa ei synny, koska vikaantunut lähtö laukeaa ja näin ollen vika poistuu. Samoin eri sähköasemien muuntajien rinnankäytössä, vikaantunut lähtö laukeaa maasta erotetun aseman puolelta ja näin ollen maasta erotettu puoli ei pääse syöttämään kapasitiivista vikavirtaa kompensoidulle puolelle.[30;32.]



Kuva 27. Muuntajat rinnakkain eri maadoitustavalla

Maasta erotetussa verkossa, jossa verkkoa voidaan käyttää maasulun aikana, on otettava huomioon erottimien suurin maasulkuvirran kapasitiivisen virran katkaisukyky, jonka ohjearvo on 60 A. Vikavirran summautuessa vikaantuneeseen vaiheeseen tämä voi olla huomattavasti suurempi. Arvon ylittyessä, lähdön katkaisija on avattava, jotta muuntamon kuormanerotinta voidaan ohjata.

Kompensoidussa verkossa tämä ei ole ongelma, sillä vikaantuneeseen vaiheeseen ei summaudu kapasitiivista virtaa, jolloin maasulkuvirta jää huomattavasti pienemmäksi, kuin maasta erotetussa verkossa. Verkon terveissä vaiheissa kulkee vian aikana lähdön maakapasitanssin määräämä maasulkuvirta, joka riippuu lähdön pituudesta. Jos vikaantunut lähtö on erityisen pit-



kä, voi tällöin terveissä vaiheissa kulkea erottimien erotuskykyä suurempi vikavirta. Tämä olisi otettava huomioon lähtöjen alkupäässä, jossa vikavirta on suurimmillaan. HSV:n verkossa ei näin pitkiä lähtöjä kuitenkaan ole. [30;32.]

Koska suuri osa maasulkuvioista johtuu kaivuvarioista, on hyötyä jos tiedetään mahdollisista kaivutöistä lähdön varrella, jolloin haarukointi voidaan aloittaa kaivutöiden läheisyydestä. Kaivuvarion tapauksessa ilmoitus kaapelialueen vaurioittaneelta taholta nopeuttaisi huomattavasti vianhakua. Valitettavan usein ilmoitus saadaan liian myöhään tai jää kokonaan saamatta.[30]

#### 7.4 Verkostoautomaatio ja Wimo

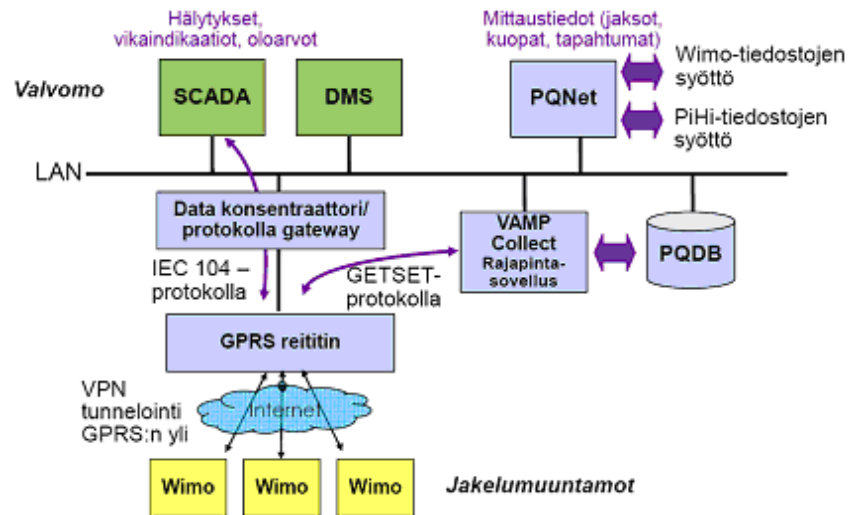
Aikaisemmista HSV:n tutkimuksista huolimatta Helsingin sähköverkoissa ei ole tähän asti hyödynnetty muuntamoautomaatiota ja kaikki kytkennät on tehty manuaalisesti verkolla. Muuntamoissa on oikosulkuindikaattorit ja vuonna 2007 muuntamoissa otettiin testikäyttöön ensimmäiset muuntamovalvontalaitteet (Wimo), jolla saatiin kerättyä tarkkoja kuormitustietoja, sähkön laadun mittauksia ja kunnossapitotietoja.

Uudet muuntamovalvontalaitteet korvasivat pj-keskusten laadunvalvontamittareita (PIHI). Nämä olivat kuitenkin ns. passiivilaitteita eli tieto kerättiin niistä paikallisesti. Passiiviset Wimot olivat huonoja vikatilanteissa, sillä hälytystietoja ja maasulkuvirran arvoa ei pystytty lukemaan laitteen ollessa ilman sähköä.

Tämän seurauksena ryhdyttiin verkostoautomaatiota ja valvontaa kehittämään siten, että saataisiin reaaliaikaista tietoa kaukovalvontajärjestelmään. Tähän asti verkostoautomaation laitteet ja tiedonsiirto ovat olleet kalliita saatettaviin hyötyihin nähden. Teknologian kehittymisen, kustannusten laskun ja keskeytysten kohoavan haitan vaikutuksesta teknistaloudellinen kannattavuus on kuitenkin parantunut.

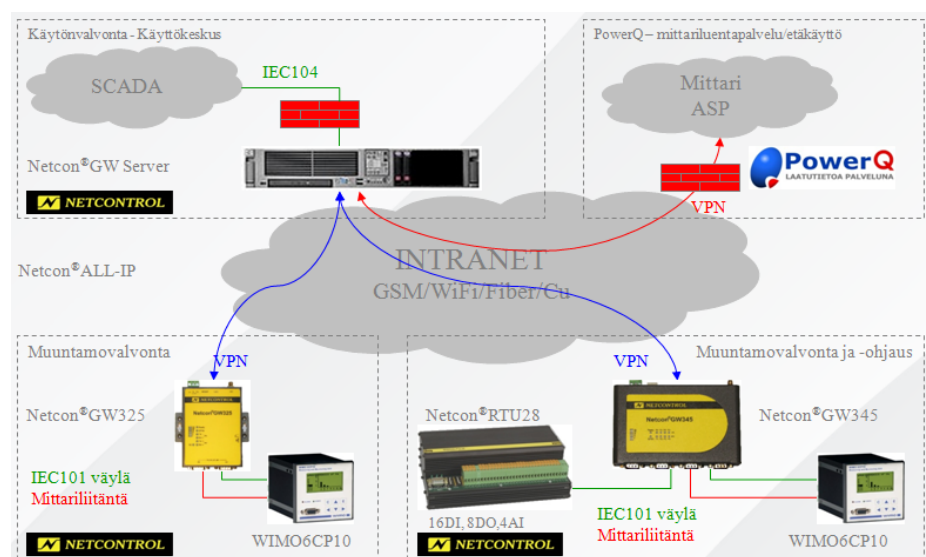
Vuonna 2008 HSV sai pilottihankkeen toteutettua, jossa testattiin viittä muuntamo koskenutta muuntamoautomaatiojärjestelmää. Tämän tavoitteena oli muun muassa keskijänniteverkon häiriöiden kestoajan lyhentäminen kaukokäytön ja vianpaikannustiedon siirtämisen avulla sekä pj-sähkönlaadun ja muuntamon kuormitustietojen mittaamisen parantaminen. Järjestelmän toimivuus vianpaikannuksessa saatiin testattua, kun kahdessa järjestelmään kuuluvassa keskijännitelähdössä tapahtui maasulkuvika.

HSV:n muuntamoautomaatio koostuu kaukovalvonnasta ja -ohjauksesta. Tiedot siirretään GPRS-yhteyden tai Internetin avulla käyttökeskukseen. Kauko-ohjauksen yhteys on toteutettu IP-tekniikalla ja ohjaukset tehdään käyttökeskuksesta. Kuva 28 havainnollistaa laitteiden välistä kommunikointia.[7.]



Kuva 28. verkostoautomaatiojärjestelmän tiedonsiirto [7]

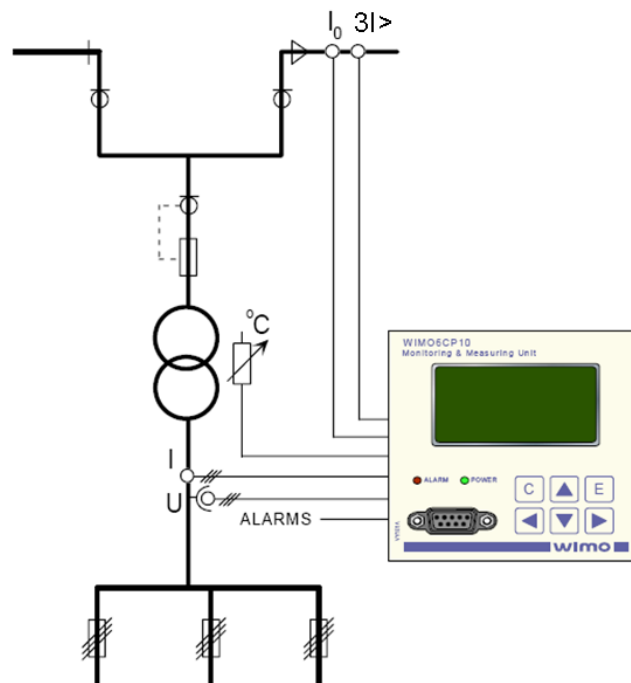
Kuvassa 29 on esitettyä verkostoautomaation periaatekuva. Kuvasta nähdään, että muuntamoiden automaatiota ja valvontaa toteutetaan kahdella tavalla. Osasta muuntamoihin asennetaan sekä ohjaus että valvonta ja osaan asennetaan pelkkä valvonta.



Kuva 29. Muuntamoiden valvonta ja ohjaus [7]

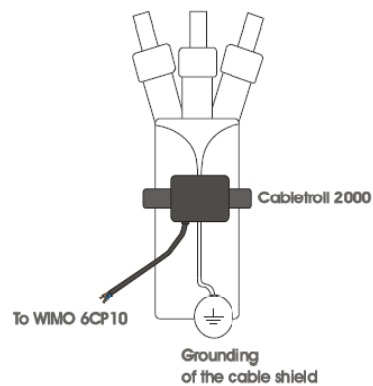
Sähkön laatua mittaa Vampin valmistama Wimo 6CP10, joka on muuntamossa sijaitseva mittaus- ja valvontayksikkö. Wimolla saadaan mitattua mm. virtoja, jännitteitä, taajuuksia sekä laskea tehoja, energioita ja harmonisia komponentteja.

Wimolla voidaan valvoa myös muuntajien lämpötilaa. Mittausten lisäksi sitä voidaan hyödyntää oiko- ja maasulkuvikojen havaitsemisessa ja paikannuksessa. Wimon voidaan operoida paikallisesti tai etäyhteydellä Vampset ohjelman avulla. Paikallinen operointi on mahdollista myös laitteen omilla painonapeilla. Kuvasta 30 nähdään Wimo muuntamovalvonnassa ja sen ohjauspaneeli.[7.]



Kuva 30. WIMO 6CP10 [7]

Wimossa on Cabletroll 2000 maasulkusensori, jolla se pystyy paikantamaan maasulkuja. Anturin avulla Wimo pystyy paikantamaan vikapaikan parhaimmillaan muuntamovälin tarkkuudella. Oikosulkutiedon Wimo saa muuntamoon tulevan lähdön oikosulkuilmaisimelta kosketintietona. Kuvassa 31 on esitetty maasulkuanturi asennettuna kaapeliin.



Kuva 31. Cabletroll 2000-maasulkuanturi kaapeliin asennettuna [7]

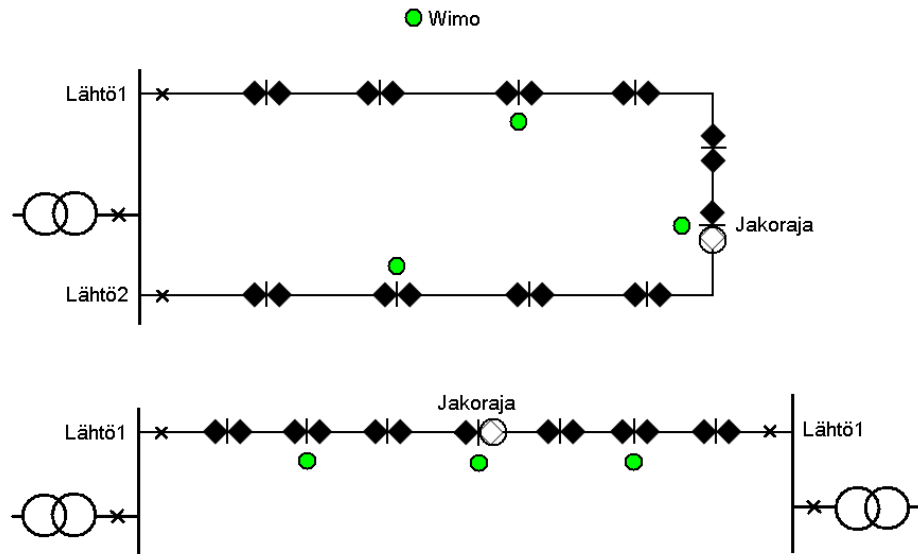
Maasta erotetussa verkossa maasulun paikannus perustuu maasulkuvirran suuruuteen. Wimot on aseteltu 10 kV:n verkossa havahtumaan 10 - 30 A maasulkuvirrasta ja 20 kV:n verkossa 30 - 50 A maasulkuvirrasta riippuen sähköasemasta. Asettelut määräytyvät sähköaseman pisimmän lähdön tuottaman maasulkuvirran mukaan ja ovat määritelty hieman tätä arvoa suuremmaksi.

Kompensoidussa verkossa paikannus tulee perustumaan maasulun alkutransientin ja 50 Hz:n komponentin suhteeseen. Laite vertaa tätä suhdelukua aseteltuun raja-arvoon. Vikaantuneen lähdön alkutransientti on suurempi, kuin terveiden lähtöjen. Wimo ei tunnista verkon maadoitustapaa, joten kummatkin asettelut ovat voimassa samaan aikaan. Kompensoidun verkon paikannusmenetelmä on vielä kehitteillä, joten se ei ole vielä käytössä.[7;32.]

#### 7.4.1 Muuntamoautomaatio ja Wimo maasulkupaikannuksen apuna

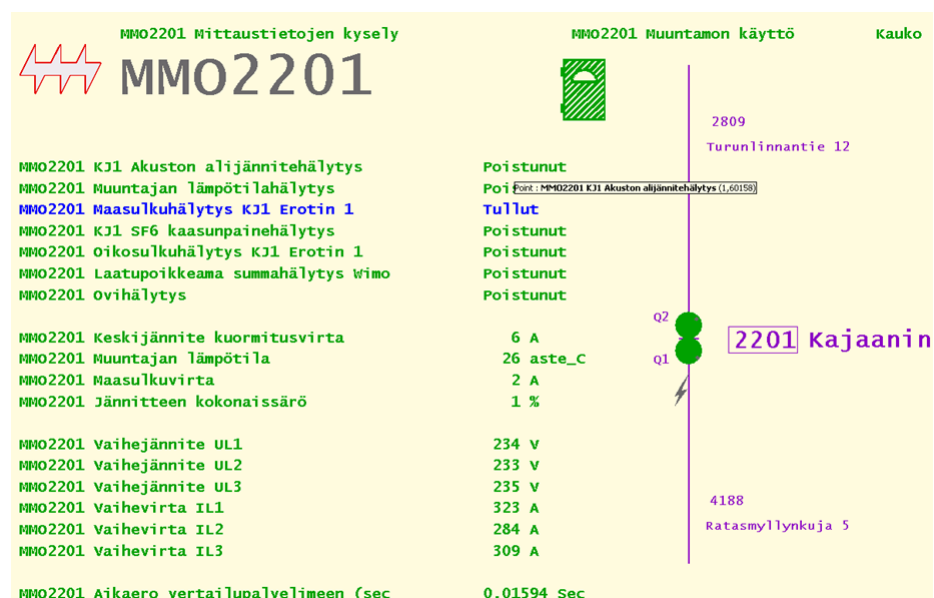
Verkostoautomaatio tuo hyötyjä maasulkuvian paikantamiseen. Maasulkuhälytykset saadaan suoraan käyttökeskukseen, jonka seurauksena vianpaikannus nopeutuu. Kaukokäytettävät erottimet nopeuttavat verkkokytkeä, jolloin sähköjakelun palautukset saadaan tehtyä nopeammin.

Kauko-ohjattavia erottimia ja vikailmaisimia (Wimo) on sijoitettu lähtöjen ja jakorajojen puoliväliin sekä sähköasemien välisiin johtolähtöjen jakorajoihin (ks. kuva 32). Kaukokäytöllä sähköasemien välinen syöttö voidaan jakaa vyöhykkeisiin ja vioittunut vyöhyke saadaan erotettua.[33.]



Kuva 32. Muuntamoautomaation sijoitus verkolla

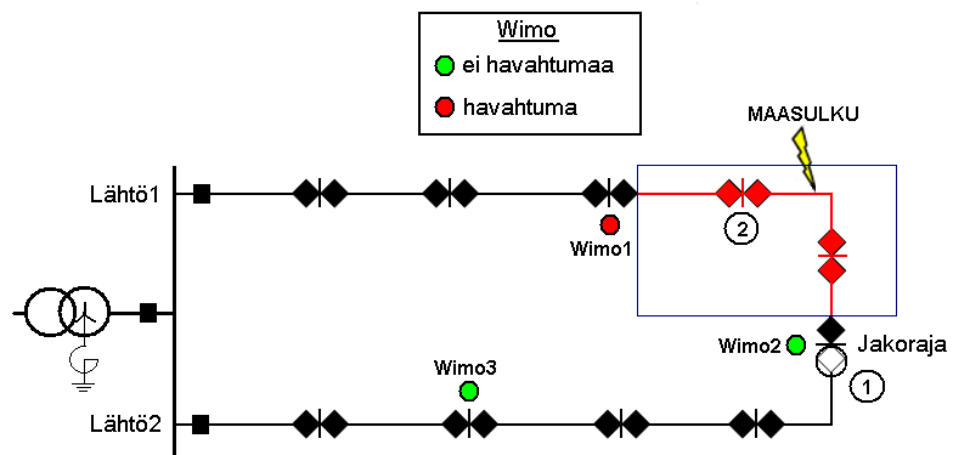
Maasulun syntyessä Wimo havahtuu ja indikoi maasulkua, jos maasulku on Wimolla varustetun muuntamon jälkeisellä osuudella. Hälytys maasulusta tulee käyttökeskukseen SCADA-järjestelmään (ks. kuva 33) ja DMS-käyttötukijärjestelmään. SCADA:sta nähdään myös maasulkuvirran arvo. Tästä on hyöty, verkkokytkennoissa, kun tiedetään ylittyykö kuormanerotin suurin sallittu erotusarvo. Hälytysten perusteella pystytään rajaamaan vikapaikkaa tarkemmin tietyille erotinvälille. [33.]



Kuva 33. Maasulkuhälytys SCADA järjestelmässä [34]

#### 7.4.2 Erotinvälin haarukointi Wimon avulla kompensoidussa verkossa

Kompensoidussa verkossa havahtuma saadaan vain kerran, vian syntyessä. Tällöin indikointien perusteella saadaan viallinen johto-osuus karsittua mahdollisimman pieneksi. Koska maasulku on hälyttävä, voidaan vianpaikannusta jatkaa jännitteisenä ja kytkeä viallinen lähtö renkaaseen kappaleen 7.3 ehtojen mukaisesti (ks. kuva 34). Näin voidaan johto-osuutta kaventaa ja paikantaa tarkka erotinväli, missä vika sijaitsee, ilman sähkönjakelukeskeytyksiä.[33.]



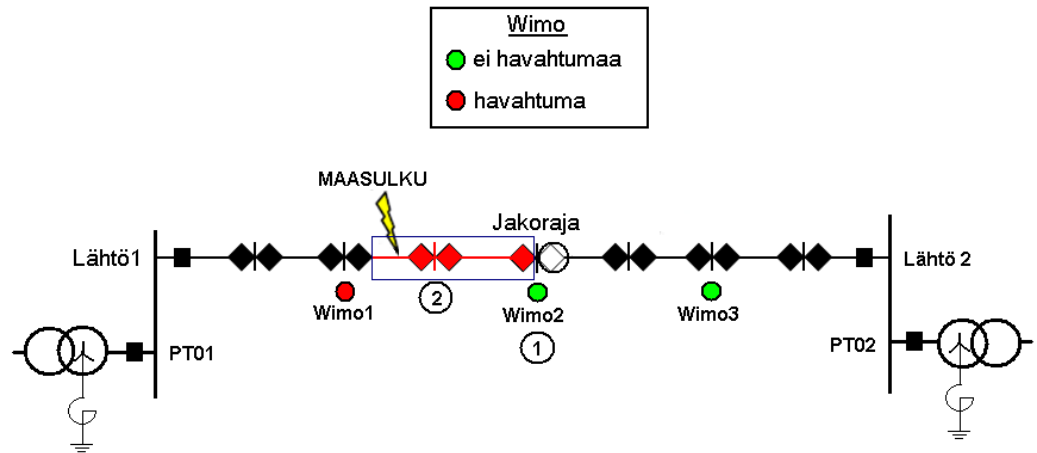
Kuva 34. Vianpaikannus hyödyntäen Wimoja kompensoidussa verkossa

Kuvasta 34 nähdään Wimon 1 havahtuneen, mutta Wimo 2 ei ole havahtunut. Näin tiedetään, että maasulku on punaisella värillä olevalla johto-osuudella, jakorajan ja viimeiseksi indikoineen Wimon välillä. Tällöin lähtö yksi kytetään renkaaseen lähdon kaksi kanssa (1) ja haarukointi aloitetaan alkuperäisen jakorajan ja viimeiseksi indikoineen Wimon puolivälistä (2).

Kompensoidussa verkossa havahtumat jää päälle, vaikka jakorajaa siirretään. Tämän vuoksi uutta havahtumaa Wimoilta ei saada, vaan paikannusta jatketaan maasulun suuntareleiden ja sähköasemalla sijaitsevien lisäpaikannuslaitteiden (EOR-D) avulla, kuten kappaleessa 7.3.

HSV:llä osa Wimon sisältävistä muuntamoista on myös kauko-ohjattu, jolloin niitä voidaan ohjata käyttökeskuksesta käsin ja näin ollen vianpaikannus nopeutuu. Kuvan 34 tapauksessa jakoraja voidaan kytkeä kiinni kauko-ohjauksella, mutta muuntamosta, josta haarukointi aloitetaan, täytyy kytkenä hoitaa paikallisohjauksilla.

Kuvasta 35 nähdään kahden aseman välisen lähdön maasulkupaikannus kompensoidussa verkossa. Tällöin viallinen lähtö voidaan kytkeä toisen aseman perään, jos muuntajilla on sama maadoitustapa. [32;33.]

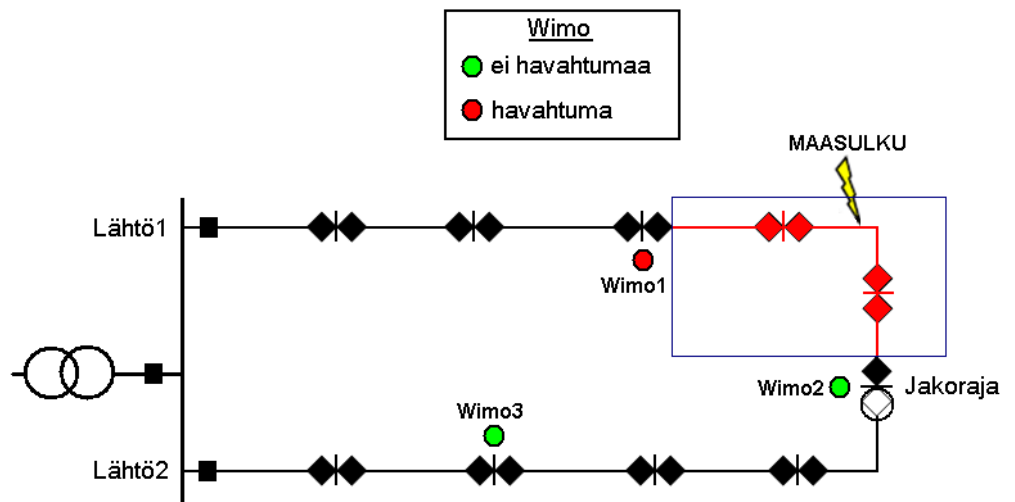


Kuva 35. Vianpaikannus Wimojen avulla asemien välillä joiden verkoilla sama maadoitustapa

Jos yhteenkytettävillä sähköasemilla on eri maadoitustapa, haarukointi joudutaan tekemään lyhyiden katkojen kautta, kun taas sama maadoitustapa mahdollistaa katkottoman haarukoinnin. Kuvassa 35 lähdön 1 Wimo 1 on havahtunut maasulusta. Näin tiedetään maasulun sijaitsevan punaisella väriellä merkityllä osuudella, jakorajan ja Wimon 1 välissä. Kummankin aseman ollessa kompensoitu voidaan lähdöt yksi ja kaksi kytkeä yhteen jakorajalta (1) ja haarukointi aloittaa Wimon 1 ja alkuperäisen jakorajan puolivälistä (2) ilman sähkönjakelun katkeamista. Tässäkin tapauksessa Wimolta ei saada uutta indikointia ja paikannusta jatketaan maasulun suuntareileillä ja sähköasemalla sijaitsevilla lisäpaikannuslaitteilla (EOR-D).[32;33.]

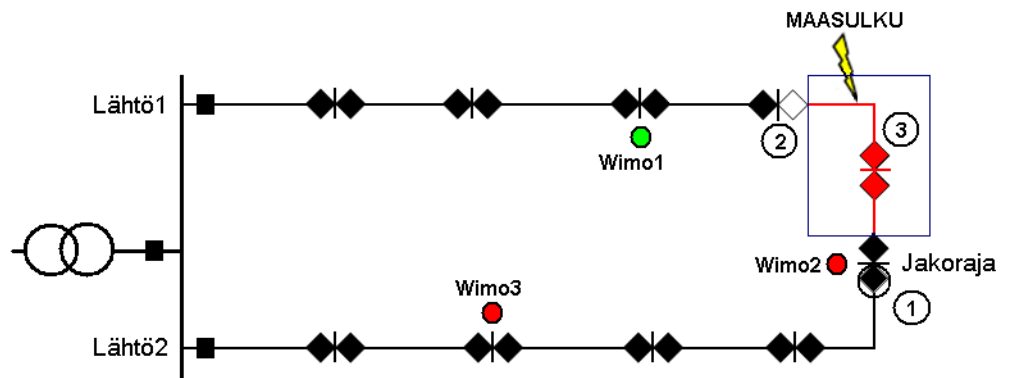
#### 7.4.3 Erotinvälin haarukointi Wimon avulla maasta erotetussa verkossa

Maasta erotetussa verkossa maasulun syntyessä Wimolta tulee hälytys maasulusta käyttökeskukseen samalla tavalla kuin kompensoidussa verkossa. Erona kuitenkin on, että hälytys poistuu, jos vikapaikka erotetaan verkosta. 10 kV:n verkossa maasulun siirtyminen toiselle lähdölle muuttaa myös Wimojen indikointia. Kuvassa 36 ja 37 nähdään maasta erotetun 10 kV verkon erotinvälin haarukointi. Kuvassa 36 on lähdön 1 Wimo 1 havahtunut, jolloin tiedetään vian olevan jakorajan ja Wimon 1 välillä (punainen osuus).



Kuva 36. Haarukointi Wimon avulla 10kV:n maasta erotetussa verkossa

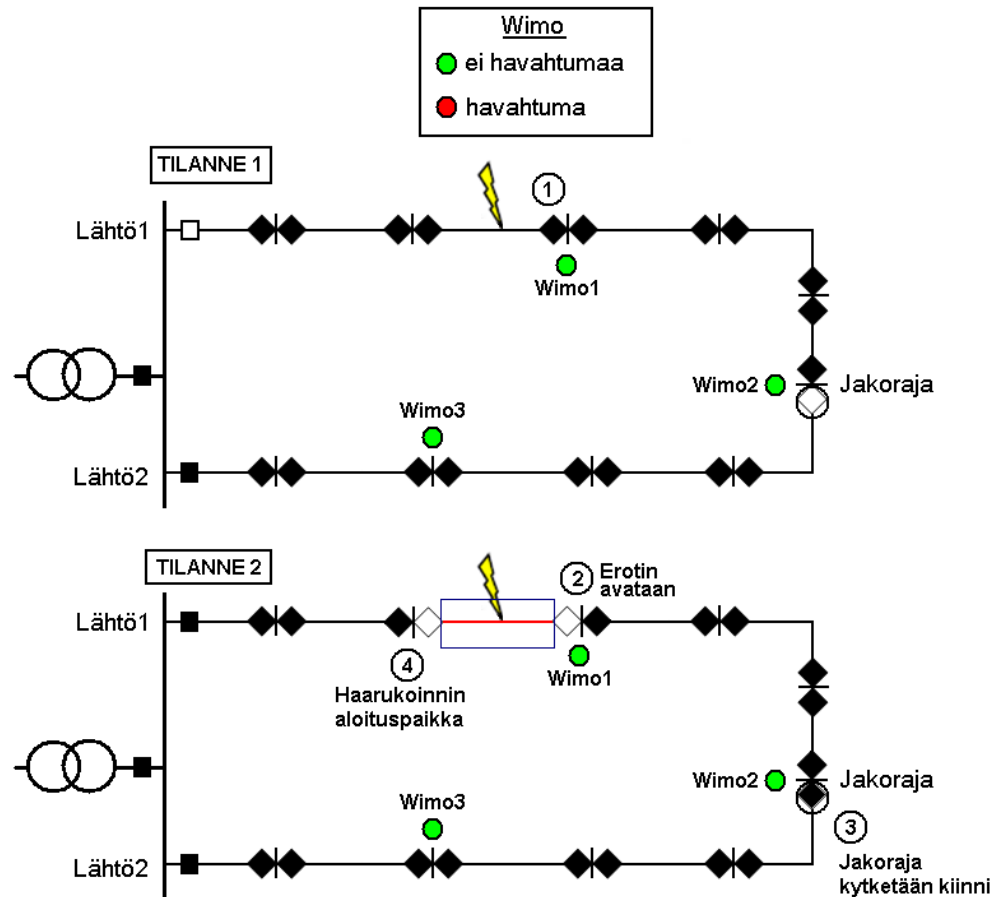
Kun jakoraja kytketään kiinni (1) ja haarukointi aloitetaan jakorajan ja Wimo 1:n puolivälistä avaamalla kuormanerotin (2), muuttuu tilanne siten, että Wimo 1 ei indikoi ja Wimo 2 ja 3 havahtuu maasulkuvirrasta ja indikoi (ks. kuva 37). Tällöin tiedetään, että maasulkuvika jää Wimon 2 ja uuden jakorajan (2) välille (punainen osuus). Näin maasulkuvika on saatu haarukoitua pienemmälle välille ja haarukointia jatketaan Wimon 2 ja avatun kuormanerotin väliin jäävän osuuden muuntamosta (3). [26;32;33.]



Kuva 37. Indikoinnin muutokset renkaankytkennän jälkeen

20 kV:n maasta erotetussa verkossa Wimon avulla saadaan tietoon tarkempi haarukoinnin aloituspaikka. Kokeilukytkentöjen aikana Wimon indikointi jää päälle lähdön lauettua, mutta poistuu, kun katkaisija kytketään uudelleen kiinni, jos vika on jäänyt erotetulle osuudelle (ks. kuva 38).





Kuva 38. 20 kV:n maasta erotetun verkon haarukointi Wimojen avulla

Kuvassa 38 syttyy maasulku lähdöllä 1 ja lähtö laukeaa. Wimo 1 ei indikoi, joten tiedetään vian olevan sähköaseman ja Wimon 1 välillä (1). Seuraavaksi avataan erotin kohdassa 2, jotta kytkemällä jakoraja kiinni kohdassa 3 saadaan sähköt palautettua toisen lähdön kautta lähdön 1 erotetulle osalle. Tämän jälkeen aloitetaan haarukointi avaamalla erotin kohdasta 4, jolloin vika jää verkosta irti kytketylle osalle ja näin loputkin asiakkaat saavat sähköt, kun lähdön 1 katkaisija suljetaan.[32;33.]

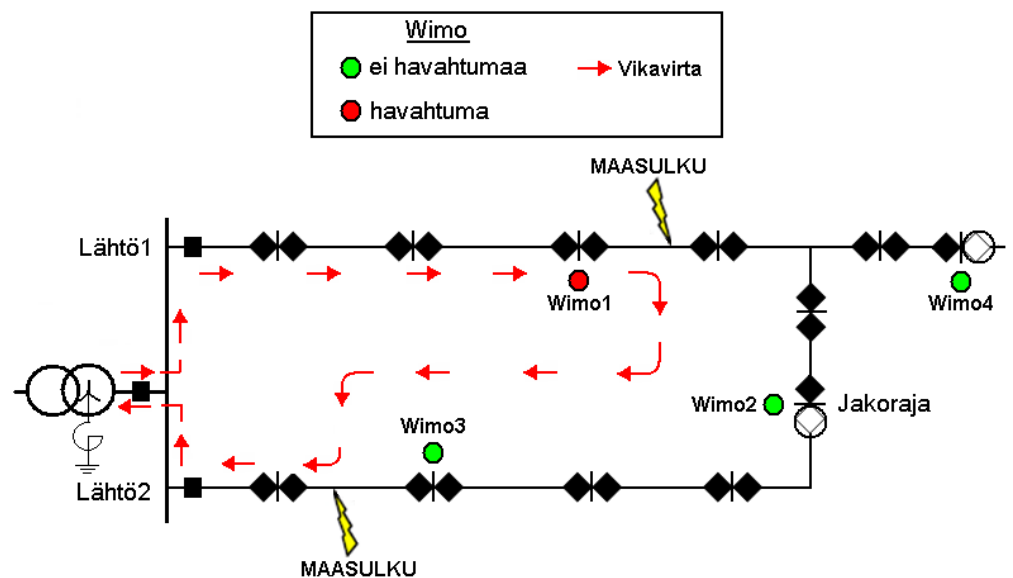
#### 7.4.4 Kaksoismaasulkutilanne

Kaksoismaasulussa vikavirta on yksivaiheista maasulkuu suurempi, kaapeloidussa verkossa käytännössä kahden vaiheen oikosulkuu vastaava, jolloin maasuluista joutuneista lähdöistä laukeaa molemmat tai jompikumpi ylivirrasta.

Tällaisessa tilanteessa muuntamoiden oikosulkuindikaattorit ovat toimineet niiltä kohdin, joissa ylivirtaa on kulkenut. Ilman muuntamoautomaatiota kytki-

jät joutuisivat menemään useaan muuntamoon tarkistamaan indikaattoreita, jotta vikapaikka saataisiin rajattua. Kokeiluperiaatetta ei voida käyttää, sillä oikosulkua vasten ei lähdön katkaisijoita voida kytkeä kiinni.

Muuntamoautomaatio mahdollistaa oikosulkuindikaatioiden tiedon siirron SCADA järjestelmään, jolloin tieto muuntamon kautta kulkeneesta ylivirrasta saadaan käyttökeskukseen. Näin tietyissä tapauksissa muuntamoautomaatiosta on lisähyötyä kaksoismaasulkutilanteissa, koska tällöin vastaava käyttömestari tietää tarkemman haarukoinnin aloituspaikan verkolta. Kuva 39 kuvaa tämäntapaista tilannetta.



Kuva 39. Kaksoismaasulkutilanne

Kuvan 39 kaltaisessa tilanteessa tiedetään lähdön 1 vian olevan Wimon 1 ja jakorajojen välisellä osuudella ja lähdön 2 vian olevan sähköaseman ja Wimon 3 välissä.[32;33.]

## 7.5 Tarkan vikapaikan haku erotetulla johto-osuudella

Yleisimmät menetelmät tarkkaan vianhakuun ovat kaapelitutka- ja syöksyjännitemenetelmät. Kaapelitutkia on ollut markkinoilla kauan, ja ne ovat luotettavia ja helppoja käyttää. Tutkan toiminta perustuu johtimeen syötettävän pulssin etenemiseen. Pulssi etenee vikapaikkaan, jossa sen aaltoimpedanssi muuttuu, ja osa pulssin energiasta heijastuu takaisin mittauspäähän. Heijastuneen pulssin etenemisajasta voidaan määrittää vikapaikan sijainti suunnilleen. Kaapelin eristysaine vaikuttaa etenevän pulssin nopeuteen. Nopeus vaihtelee voimakaapeleilla 150 - 200 m/μs. Vikapaikan etäisyys l voidaan laskea kaavalla

$$l = \frac{v \cdot t}{2}, \text{ missä} \quad (15)$$

$v$  = pulssin etenemisnopeus ja

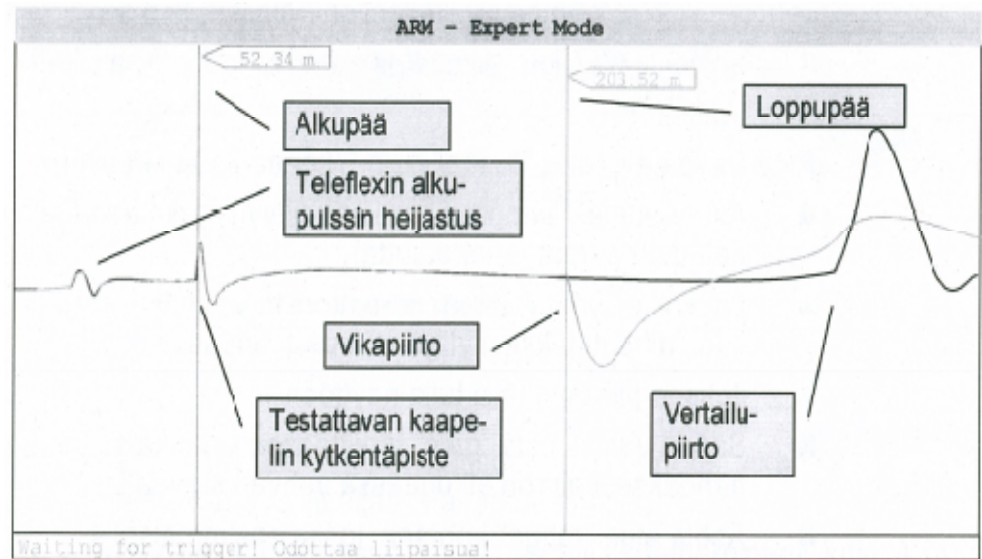
$t$  = pulssin kulkuaika vikapaikkaan

Uusimmissa kaapelitutkissa ei etäisyyttä tarvitse laskea, vaan kaapelitutkassa on digitaalinen näyttö jossa kursoreita siirtämällä saadaan luettua vikapaikan etäisyys.[35.]

Vikapaikan etäisyyden jälkeen tarkan vikapaikan voi paikallistaa syöksyaaltomenetelmällä. Syöksygeneraattorin johtimet kytketään vikaantuneeseen vaiheeseen ja maahan. Laitteen runko kytketään myös maahan. Laitteen toiminta perustuu kondensaattoriin varatun tasajännitteen syöksyttämiseen vialliseen vaiheeseen. Kondensaattoria varataan, kunnes sopiva pulssijännite saavutetaan ja puretaan vialliseen vaiheeseen. Pulssin amplitudia kasvatamalla vikapaikassa saadaan aikaiseksi läpilyöntejä. Läpilyönneistä aiheutuu räjähdyksiä, jotka voidaan kuulla mikrofoniin ja vahvistimen avulla. Kuuluvuuden herkkyys riippuu vikapaikan sijainnista ja laadusta.[27;35.]

Jos oiko- tai maasulkuvika on suurivastuksinen, katkeileva tai vikoja on useissa kohdissa, on vikapaikka haasteellisempi löytää. Tällöin voidaan käyttää ARM-menetelmää (valokaaren heijastusmenetelmä). Tämä menetelmä on nykyisin eniten käytetty ja helpoin vianpaikannusmenetelmä suurimpedanssisille ja satunnaisille vioille. Menetelmässä käytetään kahta vaihetta ja niiden piirtoa verrataan toisiinsa. Molemmat piirrot näyttävät samalta vikapaikkaan asti, jossa piirto poikkeaa vertailtavasta terveen vaiheen piir-

rosta. Kuvasta 40 nähdään esimerkkikuva viallisen vaiheen ja vertailtavan vaiheen piirroista.



Kuva 40. ARM-piirtokuva [36]

HSV:llä tarkan vikapaikan löytämiseen käytetään kaapelitutkaa, syöksyjännitemenetelmää ja kaapelikarttoja. Aluksi vikaantuneen kaapelin vaiheille tehdään eristysresistanssimittaus, josta saadaan viallinen vaihe tietoon. Tämän jälkeen paikallistetaan oikea kaapelireitti karttojen avulla.

Oikean kaapelin paikallistettua, se todetaan jännitteettömäksi esimerkiksi kaapelitykillä. Kaapelitykillä oikosuljetaan kaapelin johtimet tykissä olevan terävän veitsin avulla. Kaapelitutkalla voidaan esipaikantaa vikapaikka, jonka jälkeen tarkka paikka saadaan selville syöksyjännitemenetelmällä.[36.]

Tarkan vikapaikan haku voi hankaloitua useista syistä. Joskus paikantamista joudutaan siirtämään eri aikaan, jos ympäristössä on liikaa melua esimerkiksi työkoneiden ja liikenteen aiheuttamana. Myös katujen ja moottoriteiden alitukset saattavat aiheuttaa hankaluuksia, sillä kaapelit ovat usein asennettu putkiin, jolloin syöksytyksen aiheuttama pauke kantautuu pitkälle vikapaikasta.

Ongelmia aiheuttaa myös kaapeleiden asentaminen poikkeuksellisiin rakenteisiin, kaapelien syvä sijainti maassa ja talvella runsas lumi. Myös kompensointi voi aiheuttaa ongelmia paikannukseen, sillä kompensoidun verkon maasulkuvirran ollessa huomattavasti pienempi myös vikapaikan vauriot jäävät pienemmiksi ja näin selvän vikapaikan löytäminen voi hankaloitua. Ti-

lanne saattaa olla hankalin verkossa, jossa kompensoinnista huolimatta käytetään laukaisevaa suojausta, jolloin vikapaikasta kulkevan virran aika lyhenee huomattavasti.

Tästä huolimatta on tiedossa, että eräissä jakeluverkkoyhtiöissä on maasulkuvirran kompensointi laukaisevalla suojauksella ollut pitkään käytössä, mutta ongelmallisia vikatapauksia tarkassa vianpaikannuksessa on harvoin ja nekin pääosin avojohtoverkoissa suuriresistanssisissa vioissa.[37.]

## 8 YHTEENVETO

Suomessa käytettävät jakeluverkon vianpaikannusmenetelmät ovat yhteneviä monella jakeluverkkoyhtiöllä. Menetelmistä suuri osa on kehitetty vuosia sitten, mutta viime vuosina paikannusmenetelmät ovat kehittyneet parempaan suuntaan. Maasulkuviat ovat hankalampia paikantaa, kuin oikosulkuviat. Ongelma on maailmanlaajuinen ja jakeluverkkoyhtiöt kehittävät suojaus-  
siaan luotettavamman toiminnan saavuttamiseksi. Vianpaikannuksen suurimmat hankaluudet esiintyvät tarkan vikapaikan paikannuksessa sekä läh-  
tökohtaisessa vianpaikannuksessa suurimpedanssisissa ja katkeilevissa maasulkuvioissa.

Kompensoinnin käyttöönotto mahdollistaa hälyttävän maasulkusuojauksen myös 20 kV:n keskijännitekaapeliverkkoon, jolloin myös sitä voidaan käyttää maasulkuvikojen aikana. Tämän myötä keskeytysten määrä kuluttajille vä-  
henee. Myös riski maasulkuvian laajenemiseen oikosuluksi pienenee ja kj-  
laitteille koituu vähemmän rasituksia.

Katkeilevien maasulkuvikojen paikannuksessa HSV on ottanut askeleen eteenpäin. Tavallisten maasulun suuntareiden lisäksi on otettu käyttöön maasulun lisäpaikannuslaitteisto, joka havaitsee myös suuriresistanssisia ja katkeilevia maasulkuvikoja. Hälytykset saadaan SCADA-järjestelmään reaali-  
ajassa, jolloin vastaava käyttömestari saa välittömästi tiedon vikaantuneesta lähdöstä. Koska paikannusfunktioita on useita, verkon käyttövarmuus pa-  
ranee. Käytännön kokeilujen perusteella lisäpaikannuslaitteet ovat toimineet oikein maata vasten kytketyllä pieniresistanssisilla maasulkuvioilla. Lisäpai-  
kannuslaitteet parantavat verkon käyttövarmuutta, sillä paikannusfunktioita on enemmän, kuin tavallisissa maasulun suuntareleissä.

HSV:n käyttöönottama virran injektointi (CIF) parantaa kompensointikelan säätäjän toimintaa. Kelan turhat ja väärät säätökorjaukset vähenevät ja näin ollen säätäjän käyttöikä pitenee. Virtainjektioilaitteen avulla saadaan myös tarkistettua virtamuuntajien oikea kytkentä verkolla.

Muuntamoautomaatio tuo useita hyötyjä HSV:lle. Muuntamovalvontalaitteis-  
ta (Wimo) saatava maasulkuindikointi kaukokäyttöön edesauttaa maasulkuvian aikana erotinvälin haarukoinnissa ja nopeuttaa mahdollisen kaksois-  
maasulkuvian vikapaikan hakua. Hälytykset saadaan reaaliajassa kauko-

käyttöjärjestelmään ja näin ollen pystytään reagoimaan nopeammin verkolla tapahtuviin muutoksiin. Lisäksi yhdistettynä kauko-ohjattuihin erottimiin muuntamotasolla, saadaan lyhennetyksi erityisesti vikapaikan erottamiseen ja varayhteyksien kytkemiseen kuluva aikaa. Verkostoautomaatio tuo lisähyötyä myös maasta erotetun verkon maasulkuvian hakuun, sillä viallisen erotinvälin rajaamisen jälkeen sähköttä olevien asiakkaiden määrä on murtoosa alkutilanteesta, jossa koko lähdön asiakkaat ovat sähköttä.

Kompensoinnin myötä verkon vianaikaisia käyttötapoja saadaan HSV:llä laajennettua entisestään. Sähköasemat voidaan kytkeä yhteen myös vian aikana, mikäli ne on kompensoitu ja näin ollen vältetään välitön sähkönjakelu-keskeytys asiakkaille.

HSV:n kompensoidun verkon tarkan vikapaikan hakuun sovelletaan samantlaisia periaatteita, kuin maasta erotetussa verkossa. Kompensoinnin laajentuessa ja mahdollisten vikatapauksien sattuessa saadaan lisäkokemusta tarkasta vianhausta, jolloin jää nähtäväksi onko tarkan vikapaikan paikantaminen haasteellisempaa kuin maasta erotetussa verkossa.

HSV:llä on suunniteltu kompensoinnin laajentamista ja tavoitteena on, että kompensointi olisi käytössä koko 20 kV:n keskijänniteverkossa vuoden 2015 loppuun mennessä. Kompensoinnin laajentaminen vanhoille asemille on haasteellista mm. kelojen asennuksen, asemien erilaisuuden ja vanhojen laitteiden yhteensopivuuden vuoksi. 10 kV:n verkossa kompensointi ei ole ajankohtainen, sillä 10 kV:n keskijänniteverkko on jo valmiiksi hälyttävällä maasulkusuojauksella ja näin ollen kompensoinnista ei saavuteta yhtä suuria hyötyjä kuin 20 kV:n keskijänniteverkossa.

Edellä mainittujen kompensointilaitteistojen ja lisäpaikannuslaitteiden kokeemukset ovat peräisin Pukinmäen sähköasemasta ja näillä näkymin käytetyt laitteistoratkaisut ovat käyttökelpoisia myös muille sähköasemille.

## LÄHTEET

- [1] Helsingin Energia verkkosivut 12/2009 [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [http://www.helen.fi/slj/sv\\_index.html](http://www.helen.fi/slj/sv_index.html)
- [2] Helsingin Energia verkkosivut *Organisaatio info* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://helintra/helen/channels/intra/liiketoiminnot/verkko/yksikot.html.stx>
- [3] HSV:n strategia, Helsingin Energian sisäinen muistio [verkkodokumentti] 2009.
- [4] Helsingin Energia, *Sähköverkko* [verkkodokumentti] 2009. Saatavissa: <http://www.helsinginenergia.fi/sahko/liittymapalvelu/siirto.html>
- [5] Hyvärinen Markku, *Sähköverkon perusrakenne ja toimitusvarmuus*. 10/2006. Helen Sähköverkko Oy:n sisäiset dokumentit.
- [6] Tekla, Xpower DMS, Webmap sovellus, raportit 12/2009.
- [7] Hakala Sanna *Kaukokäytettävien kohteiden valinta Helsingin keskijänniteverkossa*, diplomityö. Helsingin Teknillinen korkeakoulu, Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta. Helsinki 2009.
- [8] Lakervi Erkki & Partanen Jarmo (2008) *Sähkönjakelutekniikka*. Otatieto 609. Helsinki: Hakapaino.
- [9] Seppälä Anssi (2008) Helen Sähköverkko Oy – koko Suomi, Keskeytystilasto 2007. Helen Sähköverkko Oy 2007/2008-06-26. Enease Oy
- [10] ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8, *maasulkusuojaus* [verkkodokumentti]. Viitattu 1/2010.
- [11] Suomen Standardisoimisliitto SFS. Standardi SFS 6001-9. Helsinki 2009.
- [12] Loukkalahti Mika, *kj-verkon maasulkuvirran kompensointi* esittelykalvot [sisäinen dokumentti] 2009. Viitattu 1/2010.
- [13] Mörsky Jorma, *Relesuojaustekniikka*. Hämeenlinna: Otatieto Oy. 1993.
- [14] Teknik. Jorma Seitsosen haastattelu työpaikalla 01/2010.
- [15] Releiden asettelut [sisäinen dokumentti], viitattu 01/2010.
- [16] ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 7, *oikosulkusuojaus* [verkkodokumentti]. Viitattu 1/2010.
- [17] Teknik. Seitsonen Jorma ja DI Mika Loukkalahti, haastattelu työpaikalla 1/2010.
- [18] DI Loukkalahti Mika, *Pu kompensointilaitteiston muistio* [sisäinen dokumentti] päivitetty 4/2009.



- [19] Lågland Henry, Diplomityö, *Keskijänniteverkkojen analyysi mallintamista varten*, Vaasan yliopisto, sähkötekniikka 6/2004.
- [20] DI Loukkalahti Mika, *Pu Hankintaohjelma* [sisäinen dokumentti] päivätty 1/2008.
- [21] HSV, Suunnitteludokumentit, E800208, [sisäinen dokumentti], 12/2008.
- [22] EGE, *Arc supression coils*, suunnitteludokumentit [sisäinen dokumentti], 9/2008.
- [23] a-eberle, *Technical data T-EOR-D*, valmistajan laitedokumentit, 7/2007.
- [24] Multirel, *Maasulkusuojauksen koulutus, säätäjä ja EOR-D*, [sisäinen dokumentti], 6/2009.
- [25] Andreas Kugi, Olaf Seifert, *New method to control Petersen coils by injecting of two frequencies*, Saarland University & Dresden University of technology, Germany, 6/2005.
- [26] Vedenjuoksu, Timo, *Vianpaikantaminen osana sähkönjakeluverkon suojausta ja automaatiota*. Moniste. ABB Oy.
- [27] Nurvo, Jouni, *Maasulun paikannus Helsingin Energian kj-verkossa*. Insinööriyö, Helsingin Ammattikorkeakoulu, Sähköosasto, Helsinki 2006.
- [28] GE, XA/21, Pukinmäen maasulkukoe 9.2.2010 XA-tapahtumat, [sisäinen dokumentti], 2/2010.
- [29] Tekla, Xpower, DMS, *käyttäjän käsikirja* Versio 6.4. Tekla Oy 2005.
- [30] Vastaava käyttömestari Heikki Koikkalaisen haastattelu, 3/2010. Helen Sähköverkko Oy.
- [31] Vastaava käyttömestari Jyri Luukkosen haastattelu, 3/2010. Helen Sähköverkko Oy.
- [32] DI Mika Loukkalahden haastattelu 3/2010. Helen Sähköverkko Oy.
- [33] Laatuasiantuntija Jorma Seitsosen haastattelu, 3/2010. Helen Sähköverkko Oy.
- [34] GE, XA/21-järjestelmä (SCADA), Hälytystesti 3/2010, Helen Sähköverkko Oy.
- [35] Johansson, Björn, *Kaapelivian paikannus pien-, keski- ja suurjännitekaapeleissa*. Esitelmä, Dielectric Oy 10/1991.
- [36] SebaKTM, *Teleflex T 30-E kaapelitutkan käyttöohje*, Kontram Oy 3/2006. Viitattu 29.3.2010.

- [37] Heikkinen Jouko, Helen Sähköverkko Oy: *Tarkan vikapaikan haku* [Sähköpostiviesti] Vastaanottaja Nikolas Areva. Lähetetty 29.3.2010 [viitattu 29.3.210]

Maadoitusluokat ja – menetelmät	Symmetristen komponenttien parametrien suhteet			Vikavirta %	Transienttinen vaihejännite
	$X_0 / X_1$	$R_0 / X_1$	$R_0 / X_0$		
Tehollisesti maadoitettu					
1. Tehollinen	0 – 3	0 – 1	–	> 60	≤ 2
2. Erittäin tehollinen	0 – 1	0 – 0.1	–	> 95	< 1.5
Ei-tehollisesti maadoitettu					
1. Induktanssi					
Pieni	3 – 10	0 – 1	–	>25	< 2.3
Suuri	> 10		< 2	<25	≤ 2.73
2. Resistanssi					
Pieni	0 – 10		≥ 2	<25	< 2.5
Suuri		> 100	≤ -1	<1	≤ 2.73
3. Induktanssi ja resistanssi	> 10	–	> 2	<10	≤ 2.73
4. Kompensoitu		–	–	<1	≤ 2.73
5. Maasta erotettu					
alue a	-∞ – -40	–	–	<8	≤ 3
alue b	-40 – 0	–	–	>8	> 3

[7]

dissa ei esitetä rajoituksia maadoituselektrodeja ympäröivän maaperän lämpötilan nousulle, koska kokemuksen mukaan maaperän lämpötilan nousu ei yleensä ole merkittävä.

#### 9.2.3.2 Mitoitusvirran laskenta

Maadoitusjohtimien tai maadoituselektrodien poikkipinta riippuu vikavirran arvosta ja kestoajasta. Laskentasäännöt esitetään liitteessä B. Laskennassa on eroja sen mukaan onko vian kesto aika alle 5 s (adiabaattinen lämpötilan nousu) vai yli 5 s. Loppulämpötila on valittava ottaen huomioon materiaali ja ympäristö. Kohdan 9.2.2 mukaiset vähimmäispoikkipinnat on kuitenkin otettava huomioon.

HUOM. Käytettävien liittostyyppien (erityisesti ruuviliitosten) virrankestävyys on otettava huomioon.

#### 9.2.4 Mitoitus kosketus- ja askeljännitteiden mukaan

##### 9.2.4.1 Sallitut arvot

Ihmiskehon kautta kulkeva virta aiheuttaa vaaran, jonka vaikutukset riippuvat virran suuruudesta ja kestoajasta. Tietoja ihmiskehon kautta kulkevan virran vaikutuksista on esitetty teknisessä raportissa IEC 60479-1. Käytännössä suunnittelu perustuu kosketusjännitearvoihin. Sallitut raja-arvot maasuluista johtuville kosketusjännitteille esitetään kuvassa 9.1. Kuvan käyrä esittää jännitteen arvoa, joka voi esiintyä ihmiskehon yli paljaasta kadesta paljaisiin jalkoihin. Käyrää laskettaessa ei ole otettu huomioon lisäresistansseja.

Lisäresistanssit, esimerkiksi jalkineet ja pintamateriaalit, joilla on suuri resistanssi, voidaan kuitenkin ottaa huomioon liitteessä C esitettyjen menetelmien mukaisesti.

Jokainen maasulku kytketään pois automaattisesti tai käsin. Siten hyvin pitkäaikaista tai jatkuvaa kosketusjännitteitä ei esiinny maasulkujen seurauksena.

Yleensä pitää käyttää maasulun automaattista poiskytkentää. Maasulusta aiheutuvaa hälytystä ja käsin tapahtuvaa poiskytkentää voidaan käyttää silloin, kun verkon käytön luonteen takia maasulun aiheuttama keskeytys on tarvetta siirtää so-  
pivampaan ajankohtaan. Hälytystä ja käsin tapahtuvaa poiskytkentää käytettäessä on täytettävä seuraavat ehdot:

- Verkon rakenteen tulee olla sellainen, että valokaarimaasulun todennäköisyys on pieni. Verkon on oltava joko kaapeli-  
verkko tai ilmajohtoverkossa valokaarimaasulun on sammuttava itsestään.
- Maasulusta on tultava hälytys, joka saatetaan verkon käyttöä valvovan henkilön tietoon. Vian selvittämiseen on ryhdyt-  
tava välittömästi. Käyttöä maasulussa voidaan jatkaa yleensä enintään kahden tunnin ajan ellei ole ilmeistä, että maa-  
sulusta aiheutuu välitöntä vaaraa ihmisille tai omaisuudelle tai kohtuutonta häiriötä toiselle laitteistolle. Käyttöä maasu-  
lussa voidaan jatkaa pitempään vain, jos maasulun sijaintikohta on löydetty ja varmistetaan ettei siitä aiheudu vaaraa.  
Jos maasulku sijaitsee jakelumuuntamolla, joka ei ole laajan maadoitusjärjestelmän alueella, ei käyttöä saa jatkaa.
- Jatkuvassa maasulussa esiintyvä maadoitusjännite saa olla korkeintaan pitkäaikaisesti sallitun maadoitusjännitteen  
suuruinen, kuitenkin korkeintaan 150 V.

Teloverkon asettamat vaatimukset on otettava huomioon.

### 9.8 Maadoitusjärjestelmien tarkastus ja valvonta

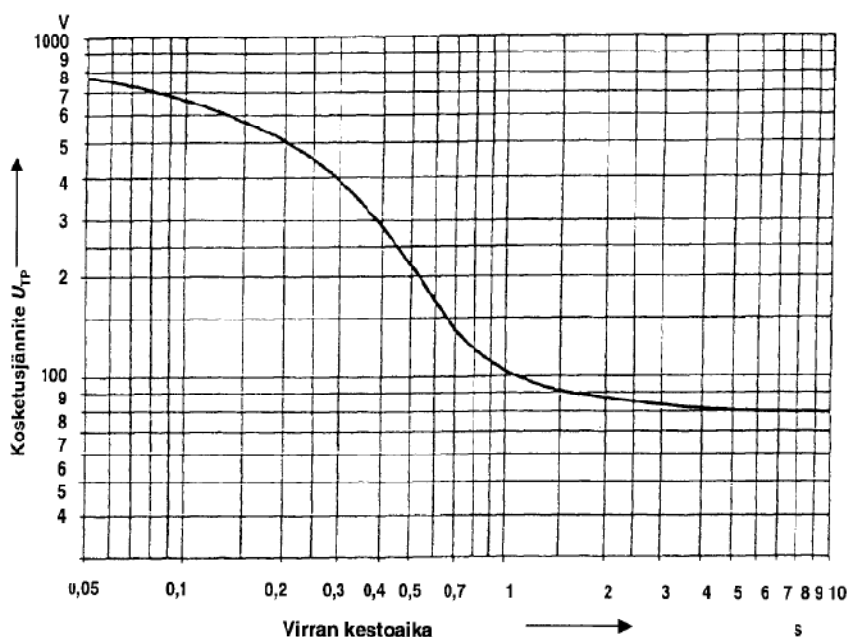
Maadoitusjärjestelmien määrävälein tehtävä tarkastus- ja mittaustarve on harkittava ottaen huomioon mm. yrityksen laadunvarmistusjärjestelmästä tulevat vaatimukset, kokemukseräiset tiedot korroosion esiintymisestä, maaperästä ja siitä onko maadoitusten rakenne muuttunut esim. lähellä tehtyjen rakennustöiden takia. Yleensä maadoitusjärjestelmille asetettujen vaatimusten toteutuminen pitää varmistaa mittaamalla maadoitusresistanssi määrävälein. Suositeltavia ohjearvoja maadoitusresistanssien mittausväleiksi ovat:

- 6 vuotta, kun maadoitus on yhden maadoitusjohtimen varassa
- 12 vuotta, kun maadoitus on useamman kuin yhden maadoitusjohtimen varassa.

Laajan maadoitusjärjestelmän tai potentiaalinhajukseen käytetyn elektrodin impedanssia ei tarvitse mitata, vaan maadoituksen riittävyys ja kunto voidaan todota muulla tavalla.

Jos kokemukseräisesti tiedetään maadoituksissa esiintyvän korroosiota, suositellaan tarkastuksen yhteydessä maadoitusten esiin kaivamista muutamasta kohdasta (esimerkiksi liitokset ja siirtymävyöhykkeet maaperään).

Maadoitusresistanssin tai kosketusjännitteiden mittaukset tai laskelmat voivat olla tarpeen myös perusvaatimuksiin vaikuttavien muutosten jälkeen (ks. kohta 9.2).



KOHDE			RELE			CT			ASETTELUT						PJK	IK			
Ase- jär- ma	Kenno	Kohde	Lyh	Rele	Vai- tyyppi	Kortti tms.	In.rele	In.prim	In.sec	I>	I>In	I>	I>>	I>>In	I>>	Uo	Toim. tapa	Vai- aika [s]	Lop- lauk. [s]
							[A]	[A]	[A]		[A,prim]	[s]							
PmE 20 kV D203	M3			Ylivirtarele	RST	7SJ621 V4.7	5	1500	5		1800	1,2	1,7	4500	3	0,1	L		
PmE 20 kV D221	M4			Ylivirtarele	RST	7SJ621 V4.7	5	1500	5		2250	1,5	1,7	4500	3	0,1	L		
PmE 20 kV D216a	RKa			Ylivirtarele	RST	SPAJ 3C5	5	1500	5		3000	2	1,4	-	-	-	L		
PmE 20 kV D216b	RKb			Ylivirtarele	RST	SPAJ 3C5	5	1500	5		3000	2	1,4	-	-	-	L		
PmE 20 kV D231	PmP			Ylivirtarele Maasulun suuntarele	RST 0	SPAJ 3C5 SPAS 1F1	5 1	1250 250	5 1		2500 25	2 10 %	1,1 1	3750 -	3 kiskos. -	-	L 5V		0
PmE 20 kV D202	M211																		0
PmE 20 kV D204	Strömberg 3		STRO3	Ylivirtarele Maasulun suuntarele	RT 0	SPAJ 3C5 SPAS 1F1	5 1	600 750	5 5		1000 12	1,667 8 %	0,8 0,5	-	-	-	L 5V		2
PmE 20 kV D205	Mesenaatitie		MESEN	Ylivirtarele Maasulun suuntarele	RT 0	SPAJ 3C5 SPAS 1F1	5 1	600 750	5 5		1200 12	2 8 %	0,8 0,5	-	-	-	L 5V		3
PmE 20 kV D206	Laukkarata		LAUKK	Ylivirtarele Maasulun suuntarele PJK rele	RT 0	SPAJ 3C5 SPAS 1F1 SPAT 2P1	5 1	600 750	5 5		1200 12	2 8 %	0,8 0,5	-	-	-	L 5V		4
PmE 20 kV D207	Pajamäki		PAJMA	Ylivirtarele Maasulun suuntarele	RT 0	SPAJ 3C5 SPAS 1F1	5 1	600 750	5 5		1000 12	1,667 8 %	0,8 0,5	-	-	-	L 5V		2
PmE 20 kV D208				Ylivirtarele Maasulun suuntarele PJK rele	RT 0	SPAJ 3C5 SPAS 1F1 SPAT 2D 200	5 1	600 750	5 5		1200 12	2 8 %	0,8 0,5	-	-	-	L 5V		
PmE 20 kV D209	Pitäjänmäen teoll.alue		PMTEO	Ylivirtarele Maasulun suuntarele	RT 0	SPAJ 3C5 SPAS 1F1	5 1	600 750	5 5		1000 12	1,667 8 %	0,8 0,5	-	-	-	L 5V		3
PmE 20 kV D210				Ylivirtarele Maasulun suuntarele	RT 0	SPAJ 3C5 SPAS 1F1	5 1	600 750	5 5		1200 12	2 8 %	0,8 0,5	-	-	-	L 5V		
PmE 20 kV D211	Tarvo		TARVO	Ylivirtarele Maasulun suuntarele PJK-rele	RT 0	SPAJ 3C5 SPAS 1F1 SPAT 2D200	5 1	600 750	5 5		1000 12	1,667 8 %	0,8 0,5	-	-	-	L 5V		4
PmE 20 kV D212				Ylivirtarele Maasulun suuntarele	RT 0	SPAJ 3C5 SPAS 1F1	5 1	600 750	5 5		1200 12	2 8 %	0,8 0,5	-	-	-	L 5V		
PmE 20 kV D213	Uuviantie		ULVIL	Ylivirtarele Maasulun suuntarele	RT 0	SPAJ 3C5 SPAS 1F1	5 1	600 750	5 5		1000 12	1,667 8 %	0,8 0,5	-	-	-	L 5V		2
PmE 20 kV D214				Ylivirtarele Maasulun suuntarele PJK rele	RT 0	SPAJ 3C5 SPAS 1F1 SPAT 2D 200	5 1	600 750	5 5		1200 12	2 8 %	0,8 0,5	-	-	-	L 5V		
PmE 20 kV D215				Ylivirtarelc Maasulun suuntarele PJK rele	RT 0	SPAJ 3C5 SPAS 1F1 SPAT 2D 200	5 1	600 750	5 5		1200 12	2 8 %	0,8 0,5	-	-	-	L 5V		
PmE 20 kV D218				Ylivirtarele Maasulun suuntarele PJK rele	RT 0	SPAJ 3C5 SPAS 1F1 SPAT 2D 200	5 1	600 750	5 5		1200 12	2 8 %	0,8 0,5	-	-	-	L 5V		

## Esimerkki maasulkusuojauksen asettelusta

Maasta erotetun 20 kV aseman lähtöjen maasulkusuojaus on suunniteltu toteutettavaksi kuvan 8.3e funktioilla. Määritetään suunnatun ja suuntaamattoman suojan asetteluarvot lähdölle, jonka tuottama maasulkuvirta on 10 A. Asemaan kuuluu myös 10 muuta lähtöä, joiden tuottama maasulkuvirta on yhteensä 50 A. Suppeimmassa verkkotilanteessa, jossa osaa kulluttajista syötetään toiselta asemalta, on verkon maasulkuvirta enää 30 A. Lähdön varrella jakelumuuntamoiden suojamaadoitus on yhdistetty alajännitepuolen käyttömaadoituksen kanssa maadoitusresistanssin ollessa 10 Ω. Suojauksen on toimittava selektiivisesti sekä StM:n vaatimusten mukaisesti mainituissa kytkentätilanteissa. Herkkyysvaatimuksena on havaita maasulut 3000 Ω vikaresistanssiin asti. Tämä tarkoittaa, että maasulusta 3000 Ω vikaresistanssiin asti on saatava selektiivinen hälytys (johtosuojat) sekä yleishälytys (nollajännitesuoja).

Yhteenvedo tarkastelun tuloksista on esitetty kuvan 8.4a selektiivisyys- ja asettelukaaviossa.

### Ratkaisu

#### Suunnatun suojan asettelut

Turvallisuusmääräysten mukaisesti (StM §10) muuntamolla, jossa maadoitukset on yhdistetty, on maadoitusjännitteen suurin sallittu jatkuvan tilan arvo 100 V. Mikäli tämä ylittyy, on maasulku kytkettävä pois vähintään ajassa:

$$t = \left( \frac{500 \text{ V}}{R_m I_e} \right)^2 \quad [\text{s}] \quad (26)$$

$R_m$  = maadoitusresistanssi [Ω]

$I_e$  = maasulkuvirta [A]

Suojauksen on siis toimittava laukaisevana vähintään ajassa  $t$ , mikäli maasulkuvirta ylittää arvon  $100 \text{ V} / 10 \Omega = 10 \text{ A}$ . Pienemmillä maasulkuvirroilla suojaus voi toimia hälyttävänä.

Täytetään toimintanopeusvaatimus suunnatun suojan ylemmällä portaalla. Lausekkeen (26) mukaan verkon suurimmalla maasulkuvirralla maasulku on kytkettävä pois vähintään ajassa  $(500 \text{ V} / (10 \Omega * 60 \text{ A}))^2 \text{ s} = 0,7 \text{ s}$ . Releen asettelussa on otettava huomioon vielä katkaisijan toimintaviive, joten asettelun on oltava pienempi tai yhtäsuuri kuin  $t - t_k$ , jossa  $t_k$  on katkaisijan toiminta-aika. Näin toimintaviiveeksi voidaan valita esim. 0,5 s, jolloin marginaalia jää vielä 0,1 s.

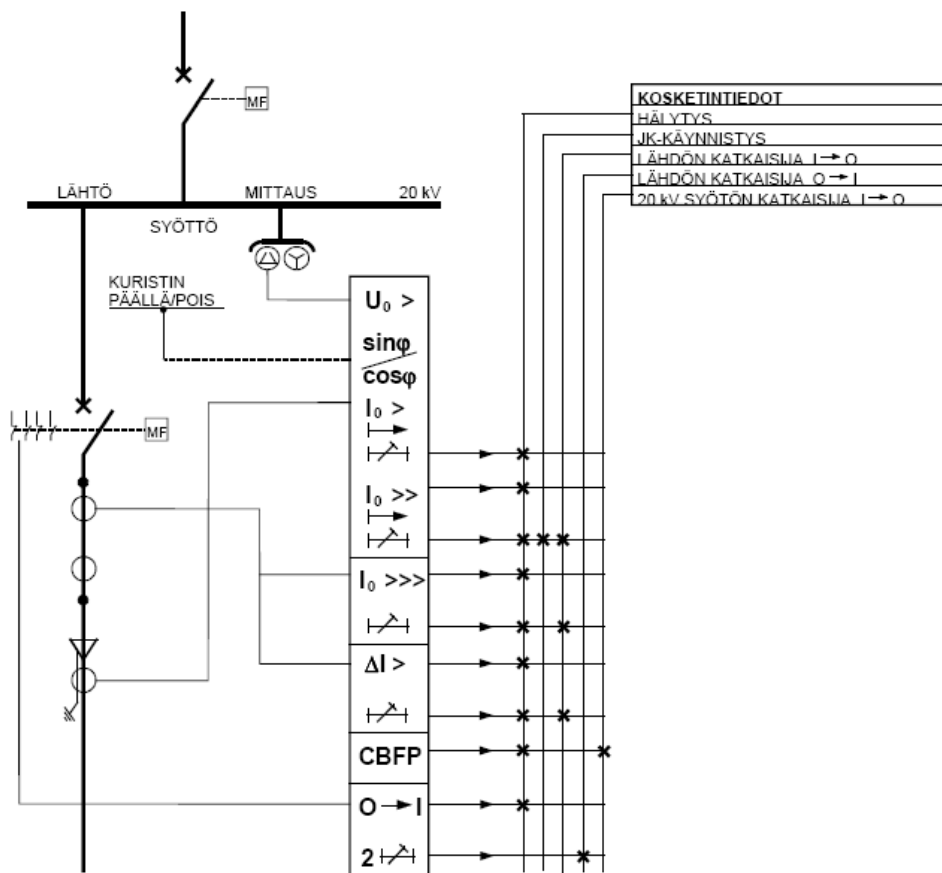
Virta-asettelujen kannalta on pahin tilanne, kun verkkotilanne on suppein. Tällöin maasulkuvirta on pienin mahdollinen, joten suojalta vaaditaan suurinta herkkyyttä. Määritetään asettelu siis tässä tilanteessa. Käyttämällä lauseketta (6) saadaan virta-asetteluksi  $10 \text{ A} * (30 - 10) \text{ A} / 30 \text{ A} = 6,7 \text{ A}$ . Laajimmassa verkkotilanteessa asettelu vastaa maasulkuvirtaa  $60 \text{ A} / (60 - 10) \text{ A} * 6,7 \text{ A} = 8,0 \text{ A}$ . Edelleen lausekkeen (4) avulla voidaan arvioida, että valittu virta-asettelu vastaa noin 1100 - 1500 Ω vikaresistanssia riippuen verkkotilanteesta.

Herkkyysvaatimus toteutetaan suunnatun suojan alemmalla portaalla, jolta saadaan selektiivinen hälytys. Suppeimmassa verkkotilanteessa 3000 Ω vikaresistanssin vaikutuksesta maasulkuvirta pienenee edelleen noin 3,8 A:iin, joka voidaan laskea lausekkeesta (4). StM:n mukaisesti tämä porras voi toimia hälyttävänä. Tällöin toimintaviiveeksi voidaan valita esim. 2 s, jotta ohimenevät viat eivät aiheuta turhia hälytyksiä. Virta-asetteluksi saadaan lauseketta (6) käyttäen  $3,8 \text{ A} * (30 - 10) \text{ A} / 30 \text{ A} = 2,5 \text{ A}$ . Laajimmassa verkkotilanteessa porras toimii  $60 \text{ A} / (60 - 10) \text{ A} * 2,5 \text{ A} = 3,0 \text{ A}$  maasulkuvirralla.

Suunnatun suojan nollajännite-ehdon kannalta on pahin tilanne, kun verkko on laajin mahdollinen ja vikaresistanssi herkkyysvaatimuksen mukainen  $3000 \Omega$ . Tällöin nollajännite on pienin. Suojan alemman portaan virta-asettelu vastaa noin 3,0 A maasulkuvirtaa, joka edelleen vastaa noin 6 % nollajännitettä. Tämä nollajännite voidaan laskea lausekkeesta (9). Valitaan nollajännite-ehdoksi 5 %.

### Suuntaamattoman suojan asettelut

Virta-asettelun tulisi olla suurempi kuin taustaverkon syöttämä suurin maasulkuvirta. Näin suojaus toimii ainoastaan kaksoismaasulussa maasulkuvirran oikosulkukomponentilla, jolloin saadaan myös selvä indikaatio vikatyypistä. Tämä on erityisen tärkeää, jotta kaksoismaasulussa ei esimerkiksi käynnistetä jälleenkytkentöjä. Koska kaksoismaasulussa maahan kulkeva virta voi olla huomattavasti yksivaiheisen maasulun vikavirtaa suurempi, tulisi toimintaviive valita mahdollisimman lyhyeksi. Valitaan tämän perusteella toimintaviiveeksi 0,05 s (minimiasettelu). Virta-asettelun on oltava riittävästi suurempi kuin taustaverkon syöttämä suurin maasulkuvirta eli 50 A, jolloin voidaan valita esim. 60 A.



KUVA 8.3e. Lähdön maasulkusuojauksen yleiskaavio (kompensoitu tai maasta erotettu verkko).

Nollajännitereleiden asetteluarvot:



**1. portaan ( $U_0 > U_{01}$ ) asettelut**

Herkkyysvaatimuksena on saada yleishälytys  $3000 \Omega$  maasuluista. Toteutetaan tämä yleishälytystoiminto nollajännitesuojan alimmalla portaalla. Kuten edellä todettiin, on laajimmassa verkkotilanteessa  $3000 \Omega$  vikaresistanssia vastaava nollajännite vain noin 6 %, jonka perusteella asetteluiksi voidaan valita esim. 5 % ja 3 s. Suppeimmassa verkkotilanteessa tämä porttas toimii vielä vikaresistanssin arvolla  $7500 \Omega$ , joten portaan toiminta ei ole enää herkkyyden suhteen selektiivistä lähdön suojan alemman virtaportaan kanssa, mutta koska porttas toimii hälyttävänä, ei tästä ole haittaa.

**2. portaan ( $U_0 >> U_{01}$ ) asettelut**

Mikäli maasulkuvirta on suurempi kuin 10 A, on suojauksen toimittava laukaisevana. Varasuojauksen kannalta myös nollajänniteportaan tulisi täyttää tämä vaatimus niin hyvin kuin mahdollista, jotta sen toiminta lähtöjen varasuojana on riittävän herkkää ja nopeaa. Kun maasulkuvirta on 10 A, on vastaava nollajännite noin 17 % kaikkien lähtöjen ollessa kytkettynä. Suppeimmassa verkkotilanteessa maasulkuvirran suuruus on ainostaan 30 A. Tällöin 10 A maasulkuvirta vastaa jo 33 % nollajännitettä. Jotta portaan toiminta olisi herkkyyden suhteen selektiivinen lähdön suojan ylemmän (laukaisevan) virtaportaan kanssa, tulee tämän perusteella jänniteasetteluksi valita esim. 35 %. Herkkyyden kannalta 35 % asettelulla löydetään maasulut, joissa vikaresistanssi on korkeintaan noin  $550 \Omega$  laajimmassa verkkotilanteessa, joten suojan herkkyys aseman suojana ja myös lähtöjen varasuojana voidaan katsoa olevan riittävä. Näin myöskin kaksoismaasulkuutilanteissa varasuojauksen toiminta on riittävän herkkää, vaikka vikaresistanssit vikapaikoissa olisivat yhtä suuretkin.

Toimintaviive on syytä valita riittävästi pitemmäksi kuin lähtöjen suojien pisin toiminta-aika, koska nollajännite ei heti häviä viallisen lähdön laukeamisen jälkeen, vaan sen vaimentuminen kestää jonkin aikaa. Käyttämällä 0,5 s porrassaikaa, saadan portaan toimintaviiveeksi 1 s. Selektiivisyyskaaviosta nähdään, että varasuojauksen osalta StM:n mukainen toimintanopeusvaatimus ei aivan täyty suurimmilla maasulkuvirroilla. Tämän korjaamiseksi tulisi nopeuttaa sekä lähtö- että nollajännitesuojan toimintaa suurilla maasulkuvirroilla ottamalla käyttöön lisää portaita tai sitten pienentää maasulkuvirtaa kompensoinnilla, ks. esimerkit 4 ja 5.

Toimiessaan  $U_0 >> U_{01}$ -porttas laukaisee osan aseman lähdöistä irti, mikäli lähtöjen suojat eivät jostain syystä ole toimineet.

**3. portaan ( $U_0 > U_{02}$ ) asettelut**

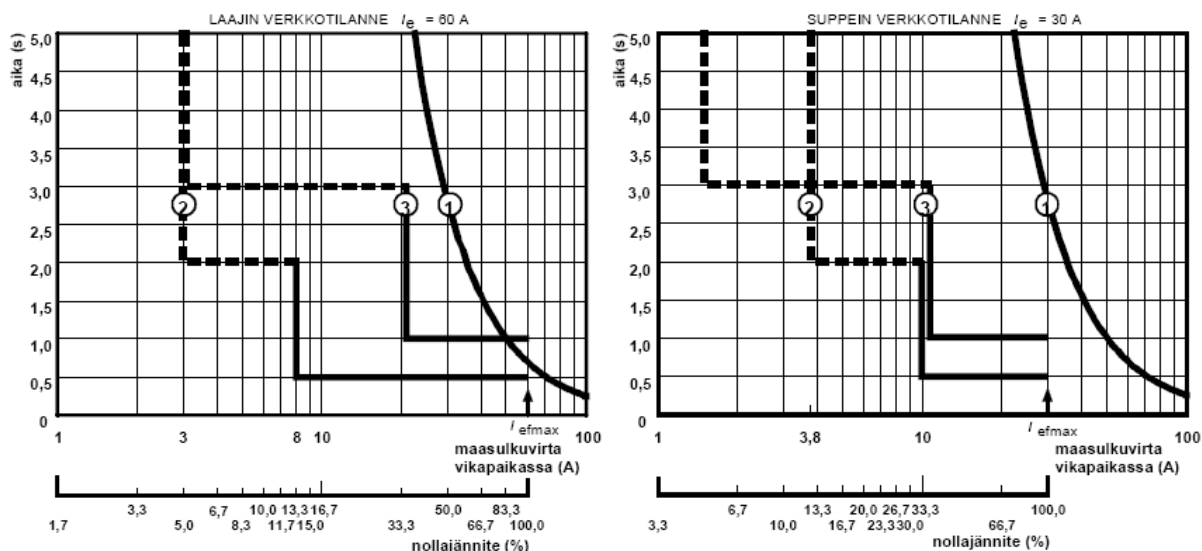
Toimiessaan tämä porttas laukaisee loput aseman lähdöistä irti, mikäli vika ei ole poistunut 2. nollajänniteportaan toimittua. Asettelu tehdään edellä mainittujen kriteerien perusteella. Jänniteasetteluksi voidaan valita esim. 35 % ja toimintaviiveeksi em. porrassaikaa käyttäen 1,5 s.

**4. portaan ( $U_0 >> U_{02}$ ) asettelut**

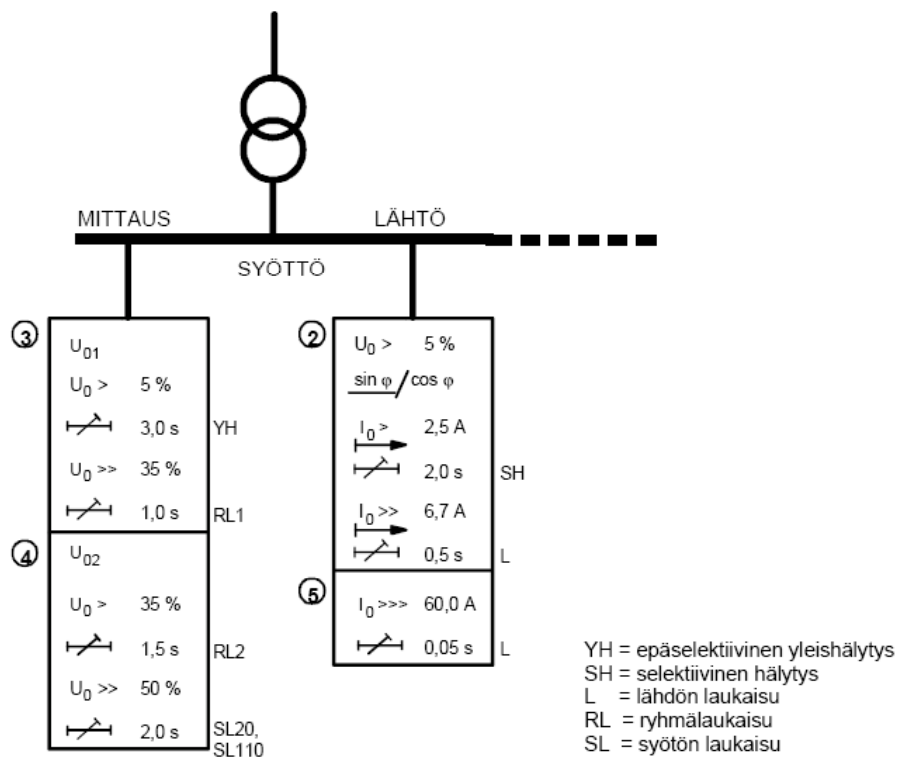
Mikäli vika ei ole poistunut 3. nollajänniteportaan toimittua, laukaisee 4. nollajänniteporttas sekä 20 kV että 110 kV katkaisijat. Tällöin on ilmeistä, että vika on joko kiskostossa tai syöttöhaarassa. Koska tällöin galvaaninen verkko koostuu ainoastaan kiskostosta ja syöttöhaarasta, on nollajännitesuojan toiminta herkimmillään. Tällöin esim.  $500 \Omega$  maasulku asemalla aiheuttaa jo varsin suuren nollajännitteen. Tämän perusteella asetteluiksi voidaan valita esim. 50 % ja 2 s.

**Selektiivisyys- ja asettelukaavio**

Yhteenveto esimerkkien 2 ja 3 suojauksen asettelusta on esitetty kuvan 8.4a selektiivisyys- ja asettelukaaviossa. Kaikki virta-arvot ovat ensiöpuolen arvoja. Jännitearvot on ilmoitettu prosentteina maksiminollajännitteestä eli vaihejännitteen nimellisarvosta.



① = Suojauksen StM:n mukainen toimintanopeusvaatimus

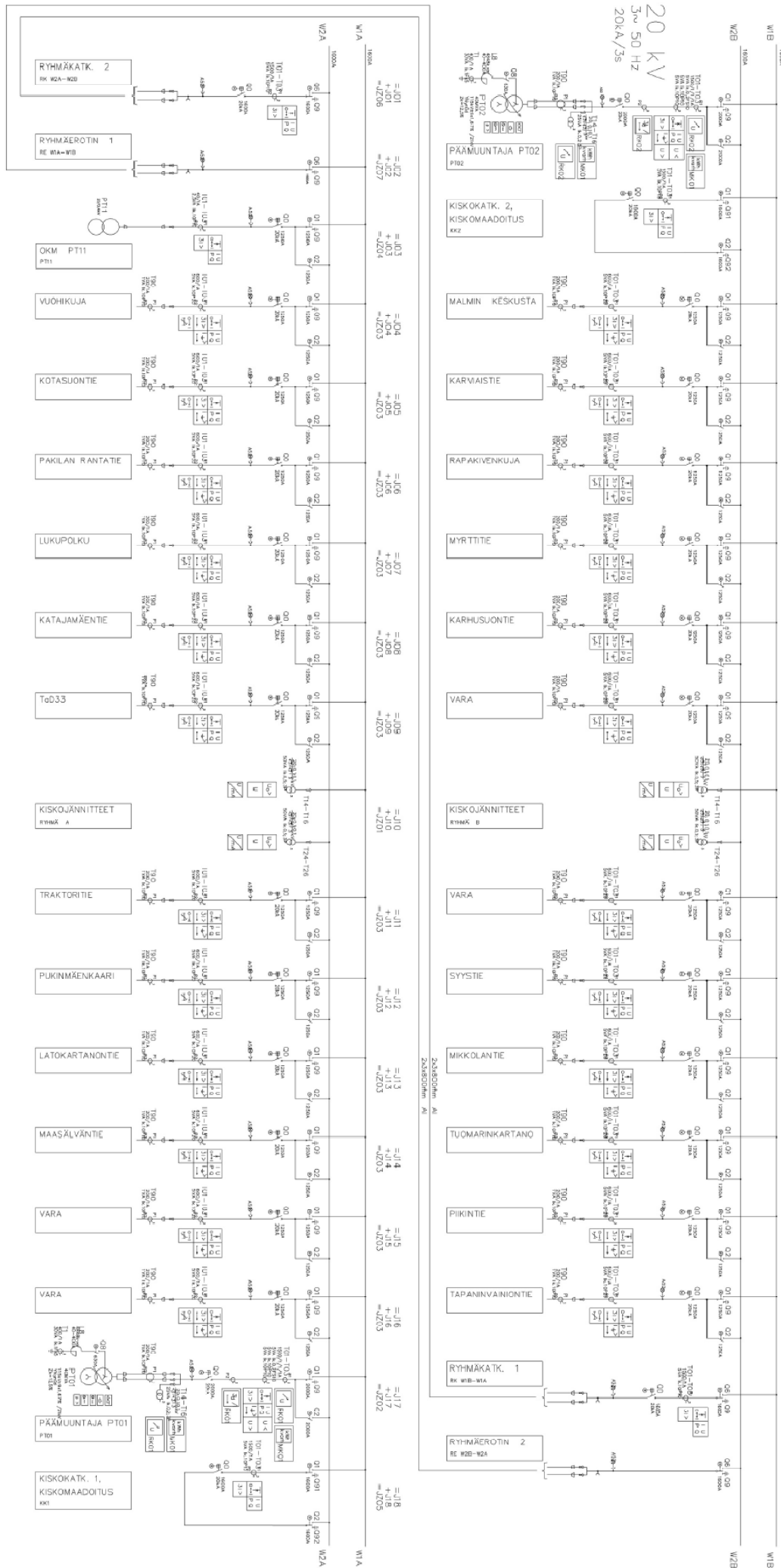


④ = Varasuojauksen toisessa vaiheessa toimivat nollajänniteportaat (ei esiinny selektiivisyyskaaviossa)

⑤ = Kaksoismaasulkutilanteessa toimiva suuntaamaton nollavirtaporras (ei esiinny selektiivisyyskaaviossa)

KUVA 8.4a. Esimerkkien 2 ja 3 suojauksen selektiivisyys- ja asettelukaavio.

Hälyttävät suojausportaat on merkitty katkoviivalla selektiivisyyskaavioon. Suurilla maasulkuvirroilla laajimmassa verkkotilanteessa varasuojauksen toimintanopeusvaatimus ei aivan täyty, joten suojauksen toiminnan nopeuttaminen lisäportaiden avulla olisi perusteltua.



## Technical Characteristics

### Applied Rules and Standards

IEC 1010 / EN61010 (VDE 0411)  
 CAN / CSA - C 22.2 No. 1010.1 - 92  
 VDE 0110  
 IEC 255-4  
 EN 55011 : 1991  
 EN 50082 - 2 : 1995  
 IEC 688 -1  
 IEC 529  
 EN 50178 / VDE 0160 / 11.94 ( draft )  
 VDE0106 TEIL 100  
 DIN 40050



### AC Voltage Inputs ( $V_o$ and $V_{12}$ )

zero sequence voltage $V_o$	0,1V ... 120V
wave form	sinus
frequency range	45...50...60...65 Hz
power dissipation	$\leq V^2 / 20 \text{ k}\Omega$
overload capability	1,2 * 120V

### AC Current Inputs ( $I_p$ and $I_2$ )

current range	1 A / 5 A (selectable via hardware and software)
wave form	sinus
frequency range	45...50...60...65 Hz
power dissipation	$\leq 0,5 \text{ VA}$
overload capability	10 A permanent 60 $I_{\text{rated}}$ for 1 s 30 $I_{\text{rated}}$ for 10 s 500 A for 5 ms

### Coil Position Indication (Ipos)

measuring sensor	potentiometer $R_{\text{pot}}$ or mA - source
rated value for $R_{\text{pot}}$	0,15 ... 3 k $\Omega$
measuring voltage	about 5 VDC
selectable range for mA - source	1, 5, 10, 20 mA
burden voltage at rated current of the mA-source	about 5 VDC

Error message at interruption or short-circuit of the sensor resp. if the voltage of the slider is outside the range.

### 20 mA - Analog Outputs

number of channels	refer to order details
output range (Y1... Y2)	-20 mA...0...20 mA, Y1 and Y2
programmable isolation	optocoupler
load impedance	$0 \leq R \leq 8 \text{ V} / Y2$
ripple content	< 0,5 % of Y2

The outputs can also operate either shortend or opened permanently. The output clamps are galvanically isolated from all other circuits.

### Binary Inputs

inputs E1 ... E16

rated input voltage	AC/DC 48 V...230 V
wave form, permissible	rectangular, sinus
H - level	> 35 V
L - level	< 25 V
signal frequency $f_s$	DC $\leq f_s \leq 60 \text{ Hz}$
input impedance	$\geq 47 \text{ k}\Omega$
isolation	optocoupler; all inputs are galvanically isolated from each other

### Relays (REL 1-11)

relay R1 ... R11, incl. status

max. switching frequency	$\leq 1 \text{ Hz}$
isolation	isolated from all internal potentials
contact load	AC 250 V, 5 A ( $\cos\phi = 1,0$ ) AC 250 V, 3 A ( $\cos\phi = 0,4$ ) DC 220 V, 55 W(L/R=0ms) DC 100 V, 55 W(L/R=0ms) DC 60 V, 60 W(L/R=0ms) DC 30 V, 150 W(L/R=0ms) > $10^5$ electrical
number of make-break operations	
status-relay	relay output selectable by jumper as NO or NC

### Reference Conditions

reference-temperature	23°C $\pm 1 \text{ K}$
input quantities	V = 0 ... 120 V I = 0 ... 1 A / 0 ... 5 A H = $H_n \pm 1 \%$
auxiliary voltage	50 Hz...60 Hz
frequency	sinus, form factor 1,1107
wave form	$R_n = 4 \text{ V} / Y2 \pm 1 \%$
burden for analog outputs	IEC 688 - Teil 1
others	

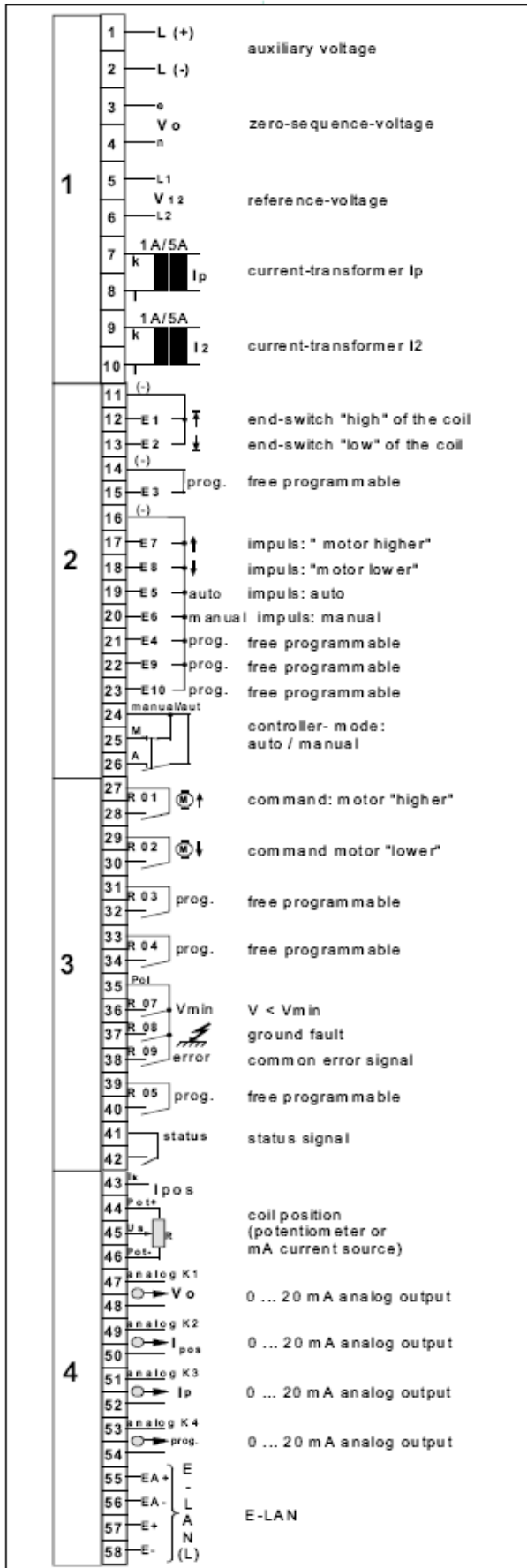
### Electrical Safety

protection class	I
pollution grade	2
overvoltage category	II, III

III	II
input circuits of the current and voltage transformers	control circuits, analog inputs, analog outputs, power supply, ELAN, COM's

rated isolation level

50 V	230 V
E-LAN, COM1...COM3, analog inputs, analog outputs	voltage inputs, current inputs, power supply, binary inputs (E1 ... E16), relay outputs (R1 ... R11), incl. status-relay



# REG-DP

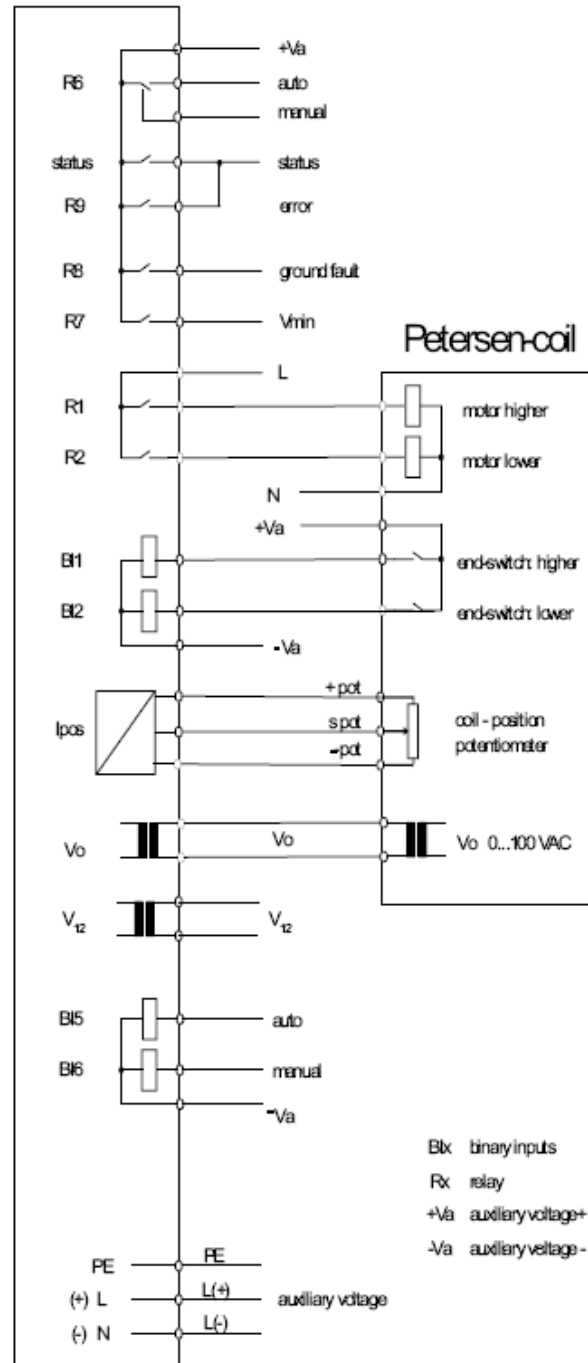


fig. 7 example for the connection of the Petersen-coil to the REG-DP

## Technical Characteristics

### Applied Norms and Standards

IEC 1010 / EN61010 (VDE 0411)  
CAN / CSA - C 22.2 No. 1010.1 - 92  
VDE 0110  
IEC 255-4  
EN 55011 : 1991  
EN 50082 - 2 : 1995  
IEC 688 -1  
IEC 529  
EN 50178 / VDE 0160 / 11.94 (z.Zt. Entwurf)  
VDE0106 TEIL 100  
DIN 40050



### AC Voltage Inputs ( $V_{en}$ )

Voltage range  $V_{en}$  0,1V ... 120V  
Fundamental frequency 45...50...60...65 Hz  
AC burden  $\leq U_E^2 / 20 \text{ k}\Omega$   
Overload capacity 1,2 \* 120V

### AC Current Inputs ( $I_0$ )

Rated Current In 1 A / 5 A  
(software-selectable)  
Waveform Sinus  
Fundamental frequency 45...50...60...65 Hz  
AC burden  $\leq 0,5 \text{ VA}$   
Overload capacity 10 A continuous  
60  $I_{nenn}$  für 1 s  
30  $I_{nenn}$  für 10 s  
500 A für 5 ms

### Digital Inputs (DI)

Inputs DI1 ... DI16

Input voltage AC/DC range from  
48 V ... 230 V  
Waveform Square, Sinus  
H – Level > 48 V  
L – Level < 10 V  
Signal frequency DC ... 50 Hz  
Input impedance 108 k $\Omega$   
Isolation Opto-Coupler; with one  
terminal of all inputs com.

### Digital Outputs (DO)

Relays R1 ... R4, incl. status  
Max. duty cycle  $\leq 1 \text{ Hz}$   
isolation galvanically separated  
from all internal parts and  
components  
contact duty AC:250 V, 5 A ( $\cos\phi = 1,0$ )  
AC:250 V, 3 A ( $\cos\phi = 0,4$ )  
DC: 220 V, 150 W Making  
Current  
Number of Switching  
operations > 10<sup>5</sup> electrical

### Reference Conditions

Ambient temperature 23°C  $\pm$  1 K  
Input quantities  $V_{ne}=90 \dots 110 \text{ V}$   
 $I_0=0 \dots 1 \text{ A} / 0 \dots 5 \text{ A}$   
Auxiliary voltage  $H = H_n \pm 1 \%$   
Frequency 50 Hz...60 Hz  
Others IEC 688 - part 1

### Electrical Safety

Protection class I  
Pollution grade 2  
Overvoltage category II, III

III	II
AC Current and Voltage inputs Aux. power supply	control circuits COM's, E-LAN

rated isolation level

50 V	120 V	230 V
E-LAN, COM1...COM3	AC voltage inputs Current inputs	Aux. power supply Digital Inputs Digital Outputs

Test voltages

	rack	$V_{aux}$	COM's	R	DI	$V_{ne}$	$I_0$
rack	-	2.2	0.35	1.35	1.35	1.35	1.35
$V_{aux}$	2.2	-	3.7	2.9	2.9	2.6	2.6
COM's	0.35	3.7	0.35	2.3	2.3	2.8	2.8
R	1.35	2.9	2.3	-	2.0	2.6	2.6
DI	1.35	2.9	2.3	2.0	-	2.6	2.6
$V_{ne}$	1.35	2.6	2.8	2.6	2.6	0.5	2.2
$I_0$	1.35	2.6	2.8	2.6	2.6	2.2	2.2

rack mounting rack  
 $V_{aux}$  auxiliary power supply  
COM's serial interf.(COM1,COM2,COM3,E-LAN)  
DI digital inputs DI1...DI16  
R digital outputs (relay) R1...R6 incl.status  
 $V_{ne}$  zero-sequence-voltage  
 $I_0$  zero-sequence-current

### Auxiliary power supply

Code	H1	H2
AC	85...264V	20 ...60V
DC	88...280V	18 ...72V
Burden	$\leq 15 \text{ VA}$	$\leq 15 \text{ VA}$
Frequency	50 Hz / 60 Hz	-
Fuse	T2 250V	T2 250V

For all codes:  
Voltage dips shorter than 50 ms cause neither data loss nor  
device malfunction

### Data storage

Device settings serial EEPROM with  
 $\geq 1000 \text{ K}$  write/read  
cycles  
RAM-DATA Laser sealed Li-Battery

### Electromagnetic Compatibility

#### Emitted interference

Group 1 Limit class A according to EN 55011:1991

#### Immunity to interference

Electrostatic Discharge ( ESD) according to  
EN 61000-4-2: 1995  
Air discharge 8 KV  
Contact discharge 4 KV

## Technical Data

## EOR-D

Electromagnetic fields according to  
 ENV 50140:1993 and ENV 50204:1995  
 80 MHz ... 1000 MHz 10 V / m  
 Radio frequency range 10 V / m  
 900 MHz  $\pm$  5 MHz 10 V / m pulsemodulation

Fast transients (bursts) according to  
 EN61000-4-4:1995  
 Power supply AC 230 V, 2 kV  
 Data lines 1 kV

Conducted Disturbances according to  
 ENV 50141:1993  
 0,15 MHz...80 MHz  $V_{rms} = 10$  V  
 Radio frequency range  $V_{rms} = 3$  V

Magnetic field according to  
 EN 61000-4-8:1993  
 50 Hz-fields 30 A / m

### Climatic Suitability

Temperaturbereich  
 Operating ( case version) -10 °C...+50 °C  
 Operating (rack version) -10 °C...+60 °C  
 Transport and storage -25 °C...+65 °C

## Mechanical Construction

### Plug-in module

Front plate	Alu, RAL 7035 grey
Height	3 U (132,5 mm)
Width	18 T (91,44 mm)
Printed circuit board	160 mm x 100 mm
Weight	$\leq 1,0$ kg
IP rating	
Plug-in module	IP 00
Terminal block	IP 00
Mounting	accord. to DIN 41494part 5
Connectors	accord. to DIN 41612

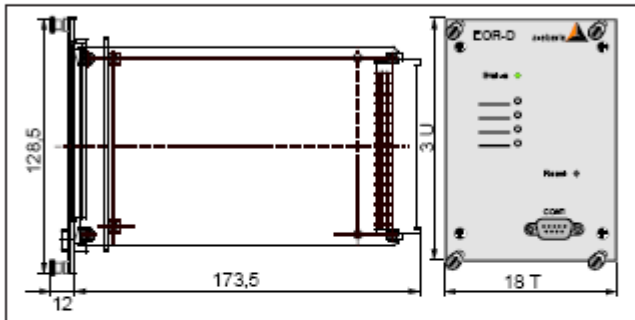


Figure 14: dimension EOR-D

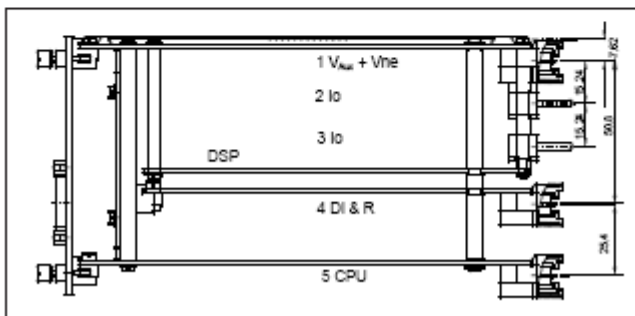


Figure 15 Position of the male-connectors of the EOR-D

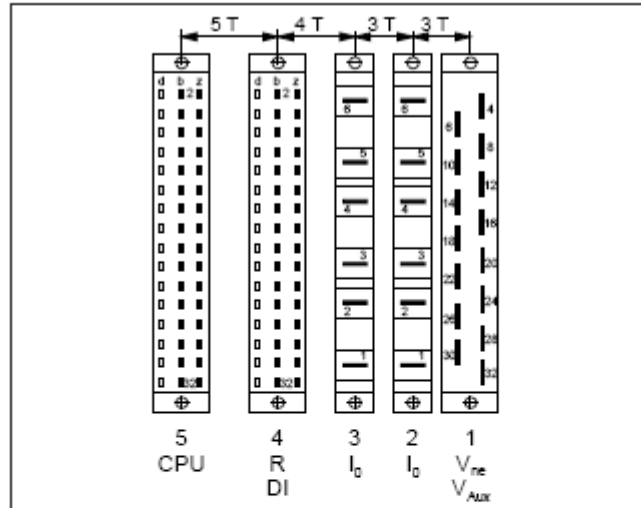


Figure 16: Position of the female-connectors of the EOR-D

## Serial Communication Ports

### RS232 Communication ports

Two RS232 communication ports are available with EOR-D (COM1,COM2).COM1 is accessible from the front of the unit. COM2 is accessible at the rear terminal of the EOR-D and is used for interfacing with the upstream control system or modem connectors.

COM 1	Male connector, Sub Min D on the front panel, pin assignment PC compatible
COM 2	Connector block Printed Circuit Board 4)
Connecting to either of port settings	PC, Terminal, Modem, PLC
Number of data bitprotocol	Parity 8, even, off, odd
Transfer rate bit / s	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 76800, 115200
Handshake	RTS/CTS or X <sub>ON</sub> /X <sub>OFF</sub>

### Communication port RS485

Each EOR-D is equipped with a dual RS485 port with repeater function for connection to E-LAN to integrate into a communication system with other components such as Voltage Controller REG-D, Petersen-coil controller REG-DP or Power-Quality Interface PQI-D.

### E-LAN (Energy- Local Area Network)

#### Features

- 255 nodes addressable
- Multimaster-Structure
- Integrated repeater function
- Open Ring, Bus or Combination of Bus and Ring Architecture
- SDLC/HDLC framing based protocol
- Transfer rates 62.5 or 125 kbit / s
- Telegram length 10 ... 30 Bytes
- Average throughput about 100 telegrams / s

### COM3

To interface to other units in the range such as BIN-D, ANA-D in any combination



# Technical Data

## EOR-D

### Assignment of the connector blocks

Connector block 1; voltage inputs, auxiliary power supply			
Synchronisation-voltage (AC)	$V_{sync}$	L1	4
		L2	6
Zero-sequence-voltage (AC)	$V_{ne1}$	e	8
		n	10
Zero-sequence-voltage (AC)	$V_{ne2}$	e	12
		n	14
Zero-sequence-voltage (AC)	$V_{ne3}$	e	16
		n	18
Zero-sequence-voltage (AC)	$V_{ne4}$	e	20
		n	22
Auxiliary power supply (AC / DC)	$V_{aux}$	L(+)	28
		N(-)	30
		PE	32

Connector block 2; current inputs			
Zero-sequence-current (AC)	$I_{01}$	k	6
		l	5
Zero-sequence-current (AC)	$I_{02}$	k	4
		l	3
Zero-sequence-current (AC)	$I_{03}$	k	2
		l	1

Connector block 3; current inputs			
		k	6
		l	5
		k	4
		l	3
Zero-sequence-current (AC)	$I_{04}$	k	2
		l	1

Connector block 4; Digital Inputs (DI) and Digital Outputs (R)									
freely prog.	DI1	+	b2	z2	+	DI2	freely prog.		
freely prog.	DI3	+	b4	z4	+	DI4	freely prog.		
freely prog.	DI5	+	b6	z6	+	DI6	freely prog.		
			b8	z8	-	Com1			
status (R1) break c.		+	b10	z10	+	DI14	freely prog.		
make c.		+	b12	z12	+	DI14	freely prog.		
Com		-	b14	z14					
Pol der Relais		-	b16	z16					
freely prog.	R2	+	b18	z18					
freely prog.	R3	+	b20	z20					
freely prog.	R4	+	b22	z22	+	DI15	freely prog.		
freely prog.	R5	+	b24	z24	+	DI16	freely prog.		
freely prog.	R6	+	b26	z26	-	Com2			
freely prog.	DI12	+	b28	z28	+	DI11	freely prog.		
freely prog.	DI10	+	b30	z30	+	DI9	freely prog.		
freely prog.	DI8	+	b32	z32	+	DI7	freely prog.		

Connector block 5; (analogue I/O; interfaces)				
		b2	z2	
		b4	z4	
E-LAN	left EA +	b6	z6	right EA+
	left EA -	b8	z8	right EA-
	left E +	b10	z10	right E+
	left E -	b12	z12	right E-
time-synchronisation	time_A	b14	z14	trigger_A
	time_B	b16	z16	trigger_B
COM 2 (RS232)	TxD	b20	z20	RTS
	RxD	b22	z22	CTS
	GND	b24	z24	+12V
		b26	z26	
		b28	z28	
COM 3 (RS485)	Tx +	b30	z30	Rx+
	Tx -	b32	z32	Rx-

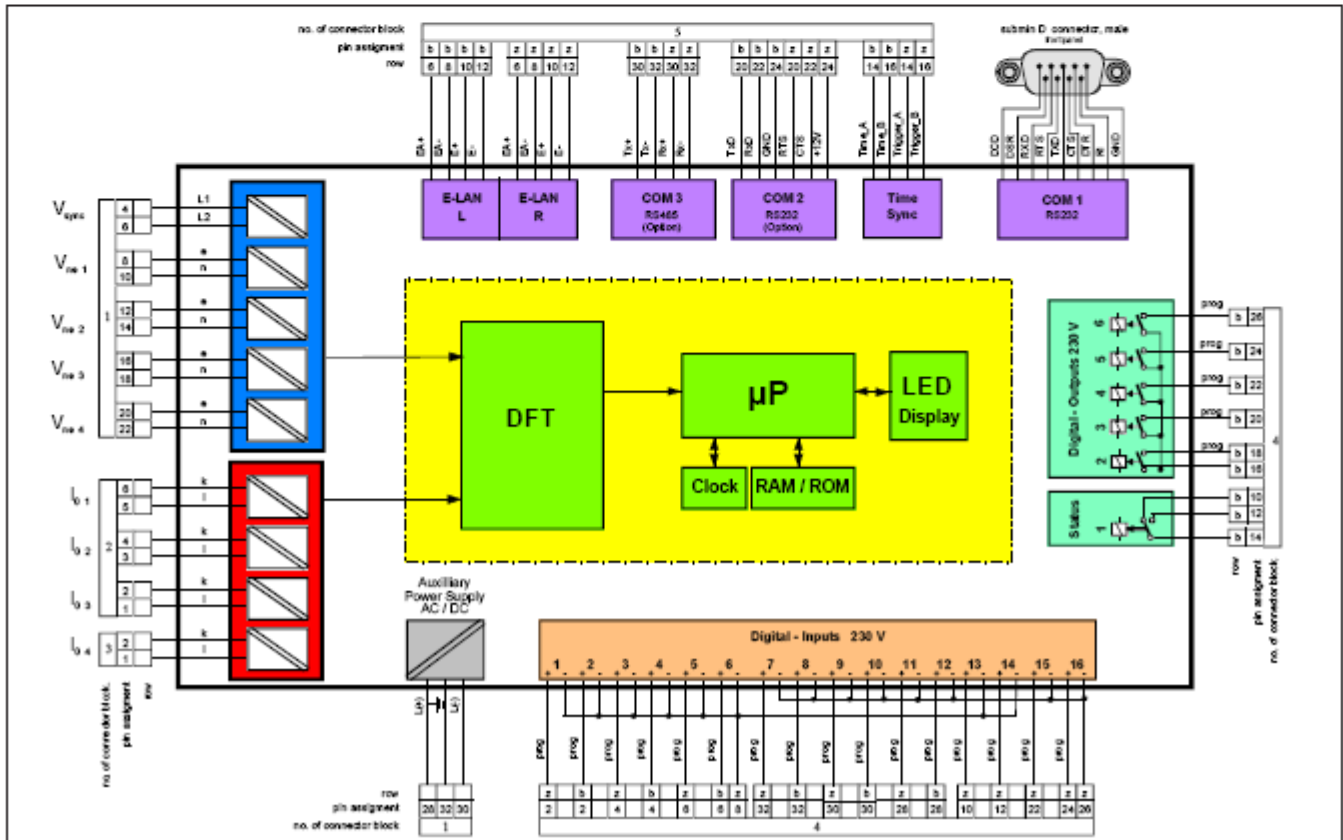


Figure 17: Block diagram of the EOR-D



Aika ja PVM	Asema	Kohteen nimi	Kuvaus
Tue Feb 09 15:07:51	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, harmoninen	Hälytys poistettu automaattisesti
Tue Feb 09 15:07:50	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, harmoninen	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:49	Pu 20	PT02 Maasulkuhavahtuma	Hälytys poistettu automaattisesti
Tue Feb 09 15:07:49	Pu 20	PT02 Maasulkuhavahtuma	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:48	Pu 20	J28 PT02 Q	Hälytys poistettu automaattisesti
Tue Feb 09 15:07:48	Pu 20	J10 W2A Kisko maasulkusuoja havahtunut	Hälytys poistettu automaattisesti
Tue Feb 09 15:07:48	Pu 20	J10 W2A Kisko maasulkusuoja toiminut	Hälytys poistettu automaattisesti
Tue Feb 09 15:07:48	Pu 20	J28 PT02 Q	Paluu normaalialueelle 0,79 MVAR
Tue Feb 09 15:07:47	Pu 20	J36 W2B Kisko maasulkusuoja toiminut	Hälytys poistettu automaattisesti
Tue Feb 09 15:07:47	Pu 20	J36 W2B Kisko maasulkusuoja havahtunut	Hälytys poistettu automaattisesti
Tue Feb 09 15:07:47	Pu 20	J36 W2B Kisko maasulkusuoja toiminut	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:47	Pu 20	J10 W2A Kisko maasulkusuoja havahtunut	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:47	Pu 20	J36 W2B Kisko maasulkusuoja havahtunut	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:47	Pu 20	J10 W2A Kisko maasulkusuoja toiminut	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:46	Pu 20	J04 Vuohi Maasulkusuoja havahtunut	Hälytys poistettu automaattisesti
Tue Feb 09 15:07:46	Pu 20	J04 Vuohi Q0	Ohj Auki toteutui
Tue Feb 09 15:07:46	Pu 20	J04 Vuohi Maasulkusuoja havahtunut	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:46	Pu 20	J04 Vuohi Q0	Auki ohjattu
Tue Feb 09 15:07:12	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, harmoninen	Hälytys kuitattu
Tue Feb 09 15:07:12	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, pätövirta	Hälytys poistettu automaattisesti
Tue Feb 09 15:07:12	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, pätövirta	Hälytys kuitattu
Tue Feb 09 15:07:12	Pu 20	PT02 Vastus päällä	Hälytys poistettu automaattisesti
Tue Feb 09 15:07:12	Pu 20	PT02 Vastus päällä	Hälytys kuitattu
Tue Feb 09 15:07:12	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, transientti	Hälytys poistettu automaattisesti
Tue Feb 09 15:07:12	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, transientti	Hälytys kuitattu
Tue Feb 09 15:07:12	Pu 20	J10 W2A Kisko maasulkusuoja toiminut	Hälytys kuitattu
Tue Feb 09 15:07:12	Pu 20	J36 W2B Kisko maasulkusuoja toiminut	Hälytys kuitattu
Tue Feb 09 15:07:12	Pu 20	PT02 Maasulkuhavahtuma	Hälytys kuitattu
Tue Feb 09 15:07:12	Pu 20	J28 PT02 Q	Hälytys kuitattu
Tue Feb 09 15:07:12	Pu 20	J04 Vuohi Maasulkusuoja havahtunut	Hälytys kuitattu
Tue Feb 09 15:07:12	Pu 20	J10 W2A Kisko maasulkusuoja havahtunut	Hälytys kuitattu
Tue Feb 09 15:07:12	Pu 20	J36 W2B Kisko maasulkusuoja havahtunut	Hälytys kuitattu
Tue Feb 09 15:07:06	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, harmoninen	Tullut
Tue Feb 09 15:07:04	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, pätövirta	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:02	Pu 20	PT02 Vastus päällä	Poistunut
Tue Feb 09 15:07:02	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, pätövirta	Tullut
<b>Tue Feb 09 15:06:59</b>	<b>Pu 20</b>	<b>PT02 Vastus päällä</b>	<b>Tullut</b>
Tue Feb 09 15:06:57	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, transientti	Poistunut
Tue Feb 09 15:06:55	Pu 20	Lähtö J04 maasulkuhavahtuma, transientti	Tullut
Tue Feb 09 15:06:55	Pu 20	J10 W2A Kisko maasulkusuoja toiminut	Tullut
Tue Feb 09 15:06:55	Pu 20	J36 W2B Kisko maasulkusuoja toiminut	Tullut
Tue Feb 09 15:06:55	Pu 20	PT02 Maasulkuhavahtuma	Tullut
Tue Feb 09 15:06:54	Pu 20	J28 PT02 Q	Alaraja 1 -0,62 0,00 MVAR
Tue Feb 09 15:06:53	Pu 20	J04 Vuohi Q0	Ohj Kiinni toteutui
Tue Feb 09 15:06:53	Pu 20	J04 Vuohi Maasulkusuoja havahtunut	Tullut
Tue Feb 09 15:06:53	Pu 20	J10 W2A Kisko maasulkusuoja havahtunut	Tullut
Tue Feb 09 15:06:53	Pu 20	J36 W2B Kisko maasulkusuoja havahtunut	Tullut
Tue Feb 09 15:06:53	Pu 20	J04 Vuohi Q0	Kiinni ohjattu